Aus dem anatomischen Institut der Universität Würzburg

Lehrstuhl: Professor Dr. Johannes Lang

UNTERSUCHUNG ÜBER DIE GELENKFLÄCHEN DER ARTICULATIO ATLANTO-OCCIPITALIS

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Ernst Fuchs

aus Schweinfurt

Würzburg, den 12. Juli 1980

1981

Aus dem anatomischen Institut der Universität Würzburg

Lehrstuhl: Professor Dr. Johannes Lang

UNTERSUCHUNG ÜBER DIE GELENKFLÄCHEN DER ARTICULATIO ATLANTO-OCCIPITALIS

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Ernst Fuchs

aus Schweinfurt

Würzburg, den 12. Juli 1980

Referent:	Prof. Dr. J. Lang
Korreferent:	Prof. Dr. K.-A. Bushe
Dekan:	Prof. Dr. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 26.2.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

MEINER FRAU ROSWITHA

UND MEINEM SOHN ERIC

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543512_0082

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
A.	Einleitung und Ziel der Untersuchung	2
B.	Material und Methode	4
C.	Befunde	7
	I. Das reelle Elipsoid - dreidimensionaler mathe-mathischer Vergleich mit dem Bewegungsablauf im oberen Kopfgelenk	7
	II. Die transversale Drehachse und ihr kürzester Abstand zum Basion und zur Deutschen Horizontalen	44
	III. Volumeninhalt der Gelenkkapsel des Atlanto-occipitalgelenkes	48
	IV. Unterschiedliche Ansatzhöhen der Gelenkkapsel	51
D.	Diskussion	55
E.	Zusammenfassung	59
F.	Literaturverzeichnis	63

A. EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Zahlreiche Forscher befaßten sich mit der Funktion des Atlanto-Occipitalgelenks, speziell mit den Krümmungsverhältnissen der Hinterhauptcondylen (Strecker 1887, Knese 1949/50, Sergi 1909/10, Fick 1911, Ingelmark 1947). Auch über die Gelenkmechanik finden sich in der Literatur bereits wichtige Abhandlungen (Henke 1857/1863, Fick 1904/1911, Gaupp 1908, Virchow 1909, Strasser 1908-1917, Hultkrantz 1912 und Knese 1936/1948). Über die Statik des oberen Kopfgelenkes sprachen bereits Gaupp (1908) und Fick (1911) sehr allgemein: "daß die Übertragung der Kopfschwere durch zwei relativ weit voneinander abstehende Kondylen auf die Wirbelsäule von großem Vorteil für die Festigkeit der Verbindung des Kopfes mit der Wirbelsäule und für die Stabilität des Kopfes ist. Durch die oben erwähnten Einrichtungen gewinnt der Kopf erst die sichere Unterstützung, die er beim aufrechten Gang nötig hat. Bei einem einzigen medianen Gelenk würde unser Kopf wie ein Kürbis auf einer Stange balanciert werden müssen" (Fick 1911). Weiterhin gibt es neuere Untersuchungen von Stofft (1971/1976), Müller (1971) und Bernhard (1976) über Statik und Kinetik der Intervertebralgelenke, auch des oberen Kopfgelenkes.

Obwohl das menschliche Atlanto-Occipitalgelenk eine große praktische Bedeutung hat, sind die direkten morphometrischen Untersuchungen nicht zahlreich. Erst bei Bernhard (1976) finden sich eine Vielzahl von funktionell-morphologischen Studien. Über die Bewegungsabläufe im Atlantooccipitalgelenk gibt es nur beschreibende Studien, jedoch keine beweisende, mathematisch exakte morphometrische Untersuchungen. Nach Fick (1904) kann "die Krümmung der Occiputcondylen als ungefähr elliptoidisch bezeichnet werden, die Gelenkflächen sind daher etwa mit Abschnitten von

Eierschalen zu vergleichen, wie man am besten erkennt, wenn man die Gelenkflächen nach H. v. Meyers Methode in Gips ergänzt. Man kann daher sagen, die Gelenkflächen stellen Oberflächenabschnitte eines einzigen quergestellten, etwa ei- oder zitronenähnlichen Körpers dar, und zwar nicht Abschnitte des mittleren Umfangs des Eies oder der Zitrone, sondern zwei symmetrische Abschnitte von weiter gegen die seitlichen Enden (Spitzen) des Eies gelegenen Oberflächenstücken". Knese (1936/1948) hingegen vertritt die Ansicht, die Hinterhauptscondylen sind nicht zu einem einzigen eiförmigen Körper zusammenzufassen, sondern geometrisch auf zwei mit ihren Achsen konvergierende eiförmige Oberflächengebilde zurückzuführen.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, mit einem neuen Verfahren die Oberflächenform der Condyli-Occipitales und die Krümmungen in sagittaler und transversaler Richtung im Atlantooccipitalgelenk mathematisch exakt zu berechnen und zu beweisen. Im einzelnen wurden bestimmt:

1. Exakter dreidimensionaler mathematischer Vergleich mit einer zum Bewegungsablauf im oberen Kopfgelenk passenden Körperoberfläche
2. Bestimmung der transversalen Drehachse des oberen Kopfgelenks und ihr kürzester Abstand zum Basion und zur Ebene, die durch die beiden Deutschen Horizontalen gebildet wird
3. Berechnung des Volumeninhaltes der Gelenkkapsel des Atlanto-Occipitalgelenkes
4. Messung der unterschiedlichen Ansatzhöhen der Gelenkkapsel, die regelmäßig ausgebildete Recessus entstehen lassen

sowie die Häufigkeitsverteilung aller Werte und signifikante Rechts-Links-Unterschiede mit statistischen Methoden.

B. MATERIAL UND METHODE

Die Schädel für die Abdruckmodelle, sowie die Feuchtpräparate für die Ausgußmodelle stammen alle aus den Sammlungen des Anatomischen Institutes Würzburg. Zu den Untersuchungen wurden 42 Schädel von Erwachsenen und 35 Feuchtpräparate im Alter zwischen 56 und 76 Jahren verwendet. Es handelte sich bei den Feuchtpräparaten um 26 männlichen Geschlechts und 9 weiblichen Geschlechts. Es lagen zwar 42 Feuchtpräparate vor, jedoch gelang nicht bei allen ein einwandfreier Ausguß, da entweder der Gelenkspalt nicht exakt injiziert wurde oder die Präparate bei vorhergehenden Präparationen schon eine Verletzung der Gelenkkapsel aufzeigten.

An Materialien wurde verwendet:

Für die Abdruckmodelle der Schädel eignete sich die bereits von Schiller (1976) und Niederfeilner (1975) dafür erprobte Siliconabformmasse Optosil der Firma Bayer, für die Ausgußmodelle des Gelenkspaltes die elastomere Siliconabformmasse Xantopren des gleichen Herstellers am besten. Beide Materialien werden in der Zahnheilkunde häufig verwendet. Weiterhin wurden für die Untersuchungen ein Kraniophor, ein Gleitzirkel mit Nonius (Fabrikat Mauser), eine Schublehre, sowie ein Meßzylinder und Bürette zur Volumenbestimmung und eine Paradontalsonde mit Millimetereinteilung aus der Zahnheilkunde verwendet.

Die Schädel wurden in Ohr-Augen-Ebene in ein Kraniophor eingespannt und die Tischebene parallel zur Deutschen Horizontale eingestellt. Bei der Abformung wurde immer der gleiche vertikale Abstand eingehalten. Mit einem dafür angefertigten Metallkästchen - auch parallel zur DH verschieblich am Kraniophor befestigt - war ebenfalls immer der transversale und sagittale Abstand jedes Abdruckes gleich eingestellt. Mit dieser Methode konnten die Schnitte der Abdrücke untereinander stets verglichen werden. Die Abdrücke wurden parallel zur Mediansagittalen, die jeweils durch das Basion und das Opisthion bestimmt wurden, im Abstand von 2 mm verlustfrei

geschnitten und auf Millimeterpapier abgestempelt.
Das Basion wurde als jeweiliger Bezugsnullpunkt - enthalten im Medianschnitt - auf jede Meßreihe mit aufgestempelt. Es gelang dadurch, die Condylenflächen in ein dreidimensionales Koordinatensystem zu legen, transversal dabei im 2 mm-Schritt sagittal dagegen im 1 mm-Schritt. Zur Kontrolle wurden die Abdrücke auch zu einer Transversalen - festgelegt durch das Basion und einer Senkrechten zur Mediansagittalen - im 2 mm-Schritt verlustfrei geschnitten. Es wurden die Koordinaten wie folgt festgelegt:

x-Achse ≙ der oben bestimmten Transversalen, wobei positives x die rechte Seite festlegt und umgekehrt negatives x die linke Seite

y-Achse ≙ der oben bestimmten Mediansagittalen, wobei positives y die vor dem Basion liegenden Gelenkflächenausschnitte festlegt und umgekehrt

z-Achse ≙ der oben bestimmten Vertikalen mit positiven z-Werten oberhalb des Basions und umgekehrt

Die nahezu 8000 Einzeldaten (jeweils Raumvektoren) wurden auf Magnetband des Computers des Rechenzentrum Würzburg eingegeben und gespeichert. Es wurde ein Programm ausgearbeitet, mit dem man per Computer die gesamten Einzeldaten mit den Oberflächen- und Rauminhaltsformeln, sowie Formeln über Achsenschnitte evtl. entsprechender Körper passend zu den Condylenoberflächen rechnerisch vergleichen konnte.

Für die Bestimmung des Volumeninhaltes des atlanto-occipitalen Gelenkspaltes mußten Ausgußmodelle hergestellt werden. Es wurde - nach Einspannen der Kopf-Hals-Präparate in ein Kraniophor und Ausrichten des Kopfes in Normalstellung und Geradeausblick - der Gelenkspalt mit einer Braunüle Stärke 1 punktiert, die Nadel herausgezogen und mit einer Spritze Luft und Flüssigkeit aus dem Gelenkspalt abgesaugt. Durch die liegende Braunüle wurde das elastomere

Xantopren innerhalb von zehn Sekunden seit dem Anrühren unter Druck mit einer Impregumspritze, wie sie häufig in der Zahnheilkunde verwendet wird, injiziert. Die Schnelligkeit war deshalb von Bedeutung, da die Abformmasse in der Kanüle in Sekundenschnelle aushärtete. Das von Hoffmann (1973) verwendete Kunststoffmaterial Technovit 7001 der Firma Kulzer erwies sich als für unsere Zwecke ungeeignet, da es starr ist und dadurch nicht die letzten Feinheiten der Gelenkkapselausgüsse herauszupräparieren waren.

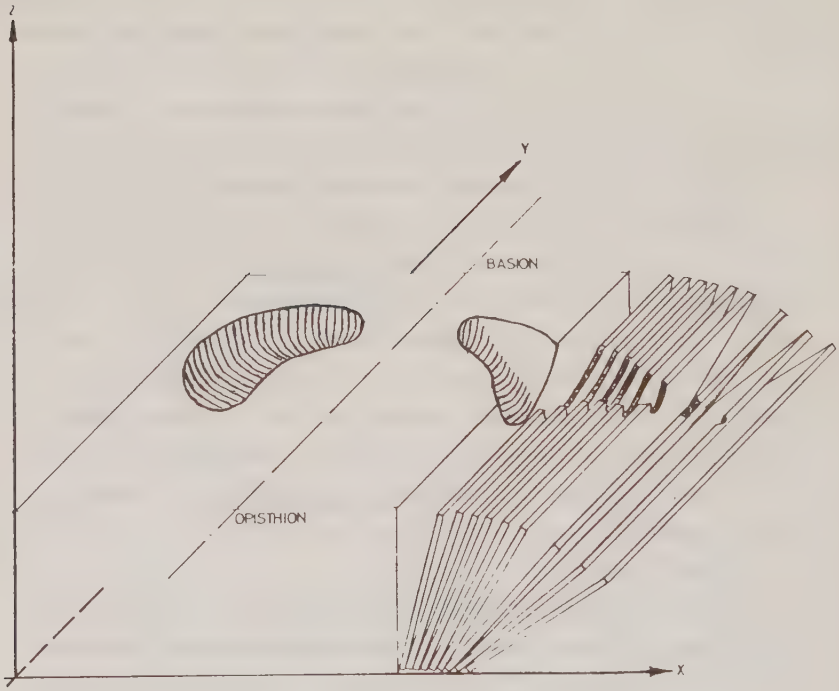


Abb. 1: Siliconabdruck der Condyli occipitales mit Darstellung der Parallelschnitte zur Mediansagittalen im Abstand von 2 mm

C. BEFUNDE

I. DAS REELLE ELLIPSOID - DREIDIMENSIONALER MATHEMATISCHER VERGLEICH MIT DEM BEWEGUNGSABLAUF IM OBEREN KOPFGELENK

Wir versuchten, die jeweils mit dreidimensionalen Vektoren (Raumvektoren) vermessenen Oberflächenpunkte des über die Condylenoberfläche gelegten Raumnetzes mit dem Basion als vorläufigen Nullpunkt des Koordinatensystems per T - 50 Computer des Rechenzentrums der Universität Würzburg mit den allgemeinen Formeln (aus Rottmann: math. Formelsammlung) für sowohl ein elliptisches und ein hyperbolisches Paraboloid, als auch für einen parabolischen und hyperbolischen Zylinder zu vergleichen. Erst beim Vergleich mit der allgemeinen Formel eines reellen oder Rotationsellipsoids kamen wir zu brauchbaren Ergebnissen.

Dabei gilt: positives x als rechts, und negatives x als links vom Basion gelegen; positives y als facial und negatives y als occipital des Basion gelegen; positives z als cranial und negatives z als caudal des Basion gelegen.

Allgemein gilt für ein reelles Ellipsoid die Formel

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 ;$$

In dieser Formel geben die Zähler die Koordinatenachsen und die Nenner den jeweiligen Radius dazu an, bezogen auf die Hauptachsen.

Weiterhin fanden wir bei zehnfacher Vergrößerung der Meßreihen und graphischer Darstellung in der Ebene, die von der Mediansagittalen bestimmt wird bis zu einem Grenzwert von 12 mm occipital des Basion eine Übereinstimmung der einzelnen Schnittreihen von

um Zehntelmillimeter näherungsweise konzentrischen Kreisen mit veränderlichem Radius - zuerst zunehmendem Radius von medial nach lateral bis zum am weitesten caudal gelegenen Punkt bezogen auf die Deutsche Horizontale und weiter lateral wieder abnehmendem Radius. Wir bestimmten mit dem Zirkel durch geometrische Konstruktion auf Millimeterpapier den gemeinsamen Mittelpunkt und bezeichneten die daraus in der Transversalen entstandene Gerade als die Rotationsachse des zu berechnenden Körpers. Durch diese Methode gelang auch die Umrechnung des bisherigen Koordinatennullpunktes am Basion auf den Koordinatennullpunkt und gleichzeitigen räumlichen Mittelpunkt des zu berechnenden Gebildes.

Annähernd bis zum bereits angegebenen Grenzwert von 12 mm occipital des Basion kann man im sagittalen Schnittbild von konzentrischen Kreisen sprechen. Die Bereiche weiter dorsal lassen sich nicht in einen einheitlichen Bewegungsablauf fassen. Stanislaus zeigte bereits die Problematik der Krümmungsberechnungen von Evoluten und Evolventen, Schmidt (1977) Krümmungsberechnungen durch die Ermittlung von Radien angelegter Kreissegmente, sowie Niederfeilner (1976) durch die Bestimmung von Scheitelkrümmungsradien angelegter Scharkurven von Parabeln.

Wie oben beschrieben, konnten wir daher von einem Rotationskörper mit transversaler Drehachse ausgehen und für die allgemeine Formel eines reellen Ellipsoides gilt dann:

Gleichung I: $$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 ;$$

$a = b$; bezogen auf die Hauptachsen

In unserem Koordinatensystem gilt dann, da die Rotation für jeden einzelnen Bezugspunkt auf der Körperoberfläche mit gleichen y und z Beträgen läuft:

Gleichung II: $$\frac{x^2}{e} + \frac{y^2}{f} + \frac{z^2}{f} = 1 \quad ;$$

Vergleich der Raumpunkte durch Berechnung des Quadrates der Halbachse der Schnittellipse

Zur Berechnung und zum Vergleich aller Meßpunkte wurde ein Wert "e" ermittelt, der die Größe der Schnittfläche des Quadrates der Halbachse der zu jedem Gelenk gehörenden Rotationsellipse bezogen auf die transversale Rotationsachse in Quadratmillimetern angibt.

Weiterhin kann man e als Funktion von f betrachten, und es gilt dann für jeden beliebigen Punkt auf der Oberfläche des Rotationskörpers für den Radius senkrecht auf die transversale Drehachse:

Gleichung III: $$r = \sqrt{e\left(1 - \frac{x_o^2}{f}\right)} \quad ;$$

e = Quadrat des Halbmessers des Ellipsoides bezogen auf die Hauptachse in x-Richtung

f = Quadrat des Halbmessers des Ellipsoides bezogen auf die Hauptachsen in y- und z-Richtung

x_o = Vektor des Ellipsoides für x an der Stelle Null (d.h. in der Mediansagittalen)

r = Einheitskreis

Gleichung III substituiert in Gleichung II:

Gleichung IV: $$e = \frac{x^2 y^2 - x_o^2 + y^2)}{x^2 - x_o^2}$$

Diesen Wert "e" berechneten wir mit Hilfe des T-50 Computers des Rechenzentrums der Universität Würzburg für jeden Meßpunkt aller untersuchten Condyli occipitales und verglichen die Werte mit Hilfe

Der bezeichnete Bezugsnullpunkt ist der Ausgangspunkt für unsere dreidimensionalen Messungen. Er liegt in derselben Sagittalebene wie das Basion und wurde vom Basion ausgehend berechnet. Die jeweiligen x-Werte können direkt übernommen werden.

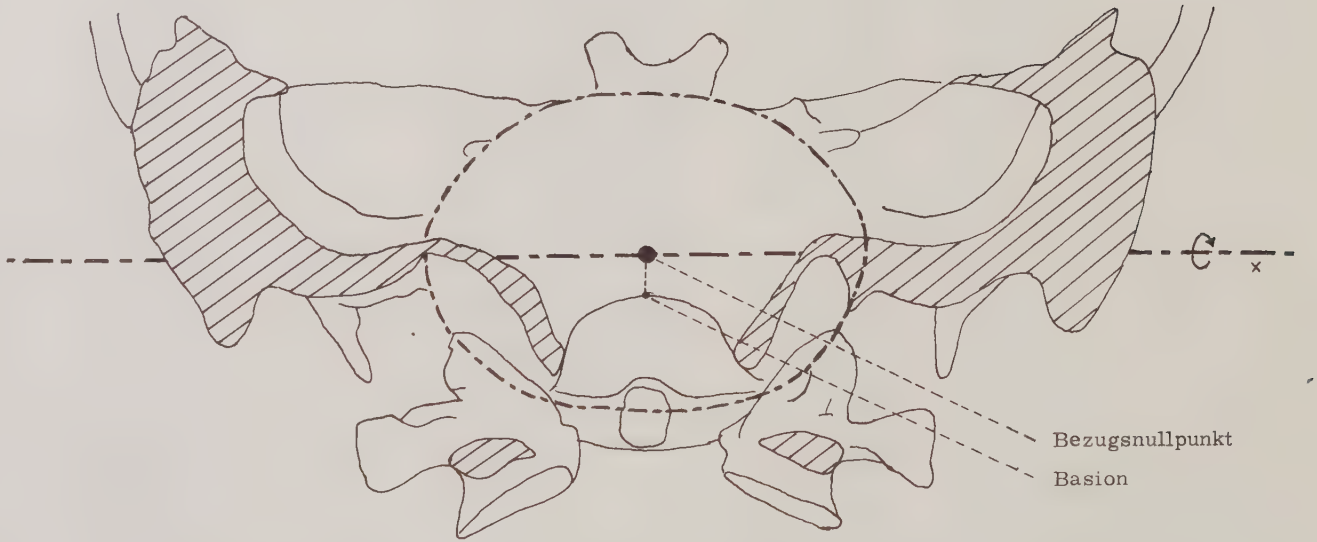


Abb. 2: Darstellung der transversalen Rotationsachse des reellen Ellipsoids mit Bezugsnullpunkt und Basion. Wir bezeichnen diese Rotationsachse als x-Achse

statistischer Methoden. Für den Wert "e" ergaben sich größere Werte bei weiter auseinanderstehenden beziehungsweise schwächer gekrümmten Condyli occipitales.
Im Rechts-Links-Vergleich ergaben sich für "e" keine signifikanten Unterschiede.
In den folgenden graphischen Darstellungen wurde "e" angegeben in Quadratzentimetern der jeweiligen Ellipsenschnittfläche zum jeweiligen Raumvektor.

Ergebnisse zur Berechnung des Wertes "e"

Es bedeutet jeweils:

n	=	Anzahl der Stichproben
$\bar{x}$	=	arithmetischer Mittelwert
σ	=	empirische Streuung
ε	=	Mittlerer Fehler des Mittelwertes
Ma	=	Maxima
Mi	=	Minima
σ^2	=	Varianz
V	=	Variabilitätskoeffizient

Um zwischen den Mittelwerten der rechten und der linken Seite signifikante Unterschiede feststellen zu können, wurde der t-Test durchgeführt (= Gegenüberstellung der arithmetischen Mittelwerte beider Seiten). Aus dem t-Test ergibt sich die Irrtumswahrscheinlichkeit p_m. Ist der p_m-Wert = 0 (= Signifikanz - 0 %), so besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Seiten. Da jedoch bei einer Gegenüberstellung allein der Mittelwerte viele Besonderheiten einer Versuchsreihe verlorengehen, ist weiterhin eine Überprüfung der Differenzen (Signifikanz) zwischen paarweise geordneten Gruppen erforderlich.

$$D = \frac{\sum d}{n} \quad \text{(Mittelwert der Einzelabweichungen)}$$

$$S_D = \sqrt{\frac{D^2 - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n - 1}} \quad \text{(Standardabweichung)}$$

$$S_{\bar{D}} = \frac{S_D}{\sqrt{n}}$$

$$t = \text{t - Test} = \frac{\bar{D}}{S_{\bar{D}}}$$

Der Variabilitätskoeffizient der einzelnen Seiten wurde nach der Formel:

$$V = \frac{100 \times \sigma}{\text{Mittelwert}} \quad \text{errechnet.}$$

Für den t-Test beim Vergleich von paarweise geordneten Gruppen gilt:

$$t = \frac{\bar{x}_{A_1}}{s_o} \times \sqrt{\frac{n_1 \times n_2}{n_1 + n_2}} \;;$$

$$s_o = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\, s_1^2 + (n_2 - 1)\, s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \;;$$

$$s_1 = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - x_{A1})^2}{n_1 - 1}} \;;$$

$$s_2 = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - x_{A2})^2}{n_2 - 1}} \;;$$

x_{A_1} = $\bar{x}$ von 1. Gruppe;

x_{A_2} = $\bar{x}$ von 2. Gruppe;

S_1 = Standardabweichung der 1. Gruppe;

S_2 = Standardabweichung der 2. Gruppe;

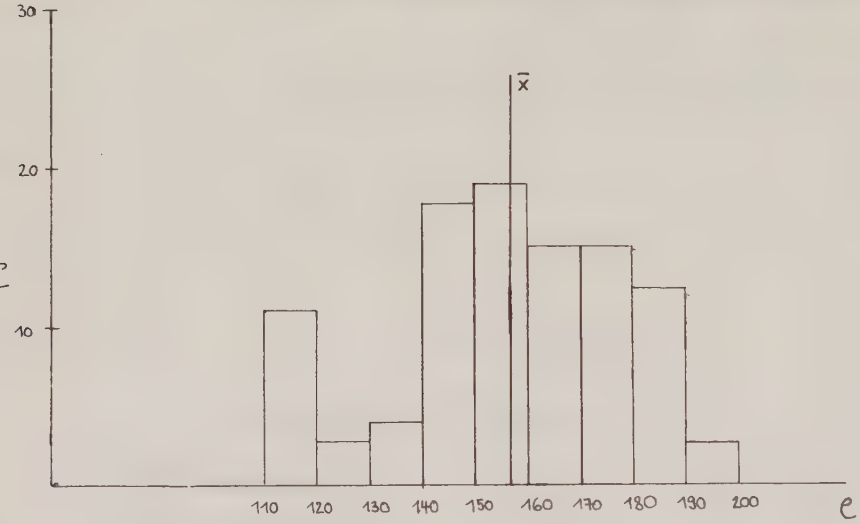
S_o = Standardabweichung des Gesamtkollektivs;

n_1 = Anzahl der Stichproben der 1. Gruppe;

n_2 = Anzahl der Stichproben der 2. Gruppe.

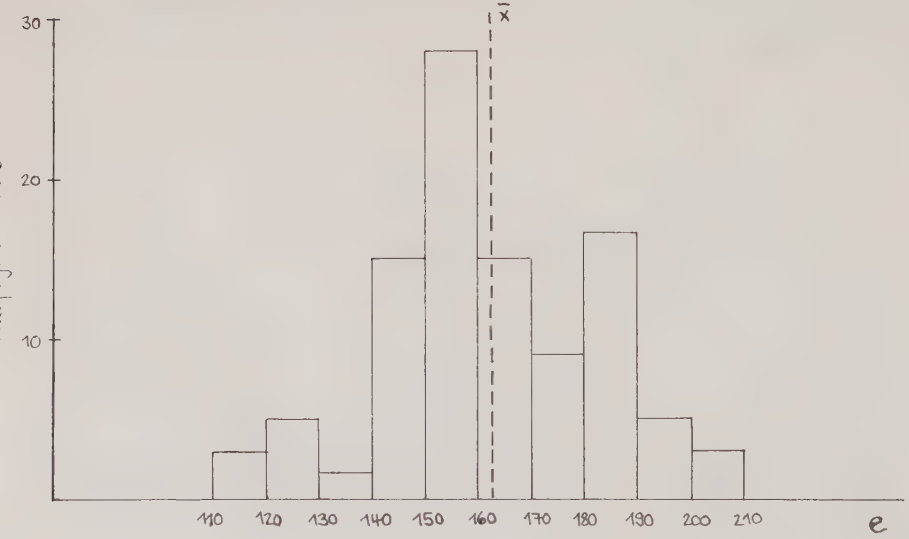
Für die graphischen Darstellungen gilt bei einer Gauß'schen Normalverteilung, daß 68,27 % aller Werte sich in den Grenzen von $\pm \sigma$ befinden müssen. Als statistische Sicherheit gelten die Grenzen von $\pm 2\,\sigma$, in denen sich 95 % aller Werte befinden müssen.
Die Sigmagrenzen stellen geometrisch die Wendepunkte der Normalverteilungskurve dar.

Abb. 3 und 4: Geometrische Darstellung der Normalverteilung der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren der Meßreihen 240 und 241



Normalverteilung liegt vor $\pm \sigma$ 68,49 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 97,30 %



Normalverteilung liegt vor $\pm \sigma$ 68,67 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 95,52 %

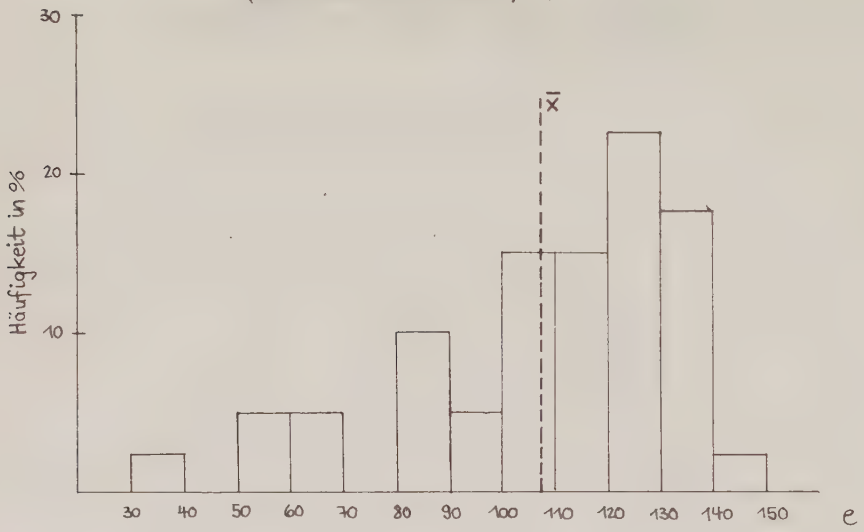
Tabelle 1: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 240 und 241	
	re	li
n	73	67
$\bar{x}(cm^2)$	156,79	162,23
$Ma(cm^2)$	192,25	206,68
$Mi(cm^2)$	110,63	111,54
σ	21,19	19,79
ε	2,48	2,42
σ^2	449,37	392,01
V	13,51	12,20

Der Mittelwert beträgt rechts 156,79 $\pm$ 2,48 cm^2, links 162,23 $\pm$ 2,42 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 110,63 cm^2 und 192,25 cm^2, links zwischen 111,54 cm^2 und 206,68 cm^2.

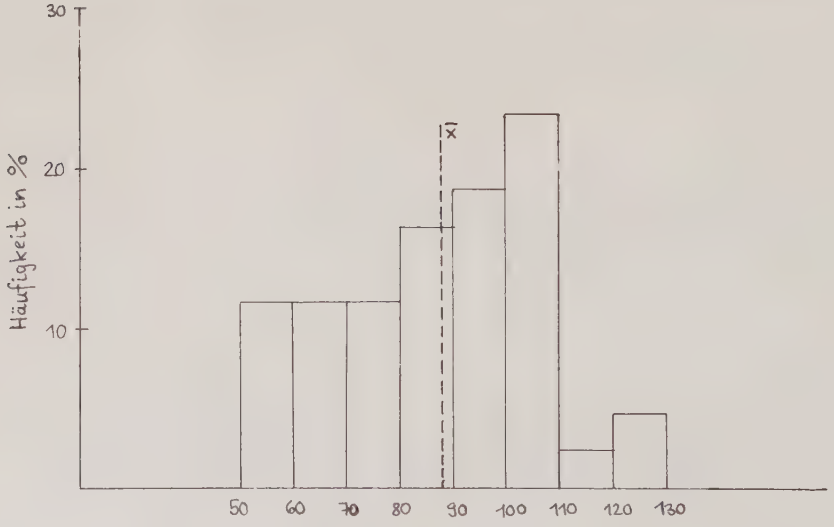
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test jedoch nicht signifikant (t = 0,25; 138 Freiheitsgrade)

Abb. 5 und 6: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 400 und 401)



Normalverteilung liegt vor $\pm$ σ 73,81 %

Statistische Sicherheit ± 2 σ 95,24 %



Normalverteilung liegt vor $\pm$ σ 72,09 %

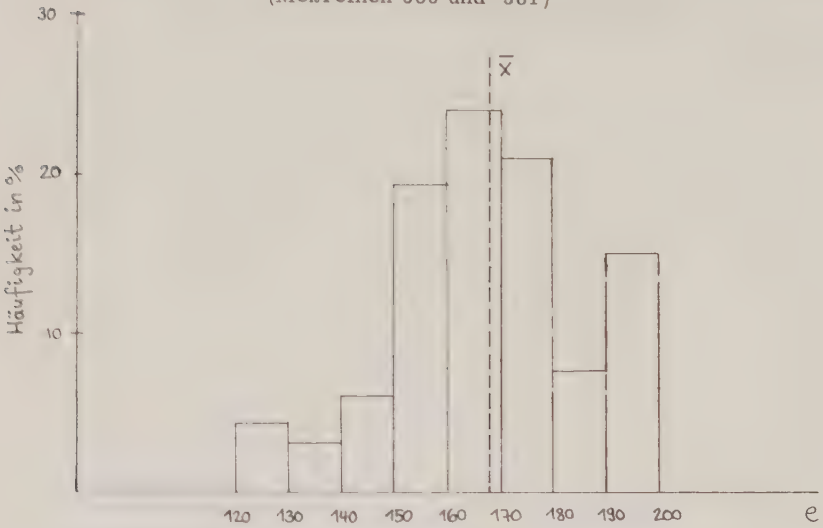
Tabelle 2: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 400 und 401	
	re	li
n	40	43
$\bar{x}(cm^2)$	107,95	88,19
$Ma(cm^2)$	142,46	129,81
$Mi(cm^2)$	38,37	51,69
σ	29,50	19,21
ε	4,66	2,93
σ^2	870,74	369,29
V	27,32	21,78

Der Mittelwert beträgt rechts $107,95 \pm 4,66\ cm^2$, links $88,19 \pm 2,93\ cm^2$. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen $38,37\ cm^2$ und $142,46\ cm^2$, links zwischen $51,69\ cm^2$ und $129,81\ cm^2$.

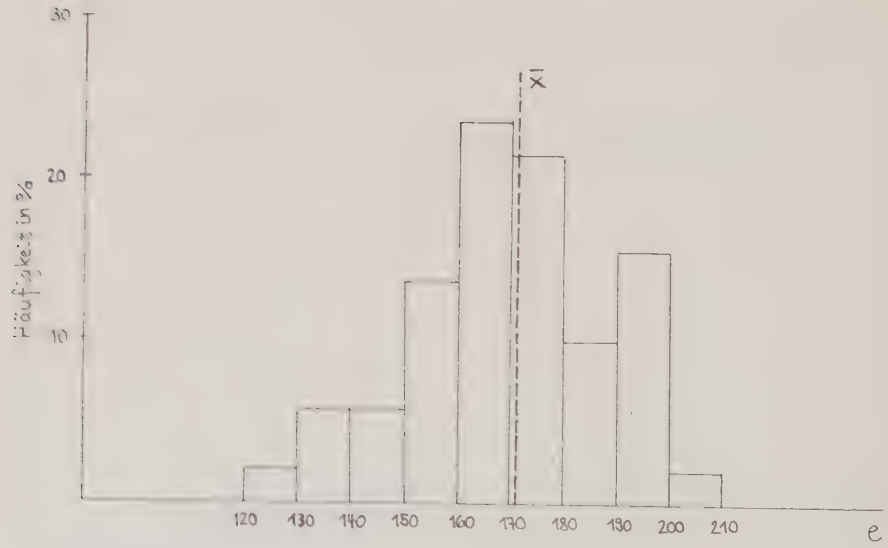
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant ($t = 0,37$; 81 Freiheitsgrade).

Abb. 7 und 8: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 380 und 381)



Normalverteilung liegt vor $\pm \sigma$ 68,65 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 95,52 %



Normalverteilung liegt nicht vor $\pm \sigma$ 60,78 %

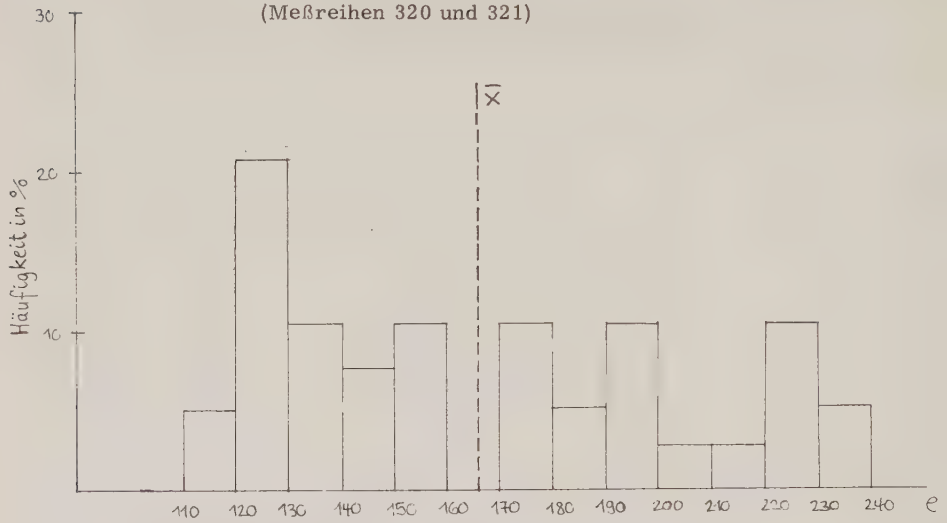
Tabelle 3: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 380 und 381	
	re	li
n	67	51
$\bar{x}(cm^2)$	168,61	170,07
$Ma(cm^2)$	200,28	203,21
$Mi(cm^2)$	121,24	129,80
σ	18,07	17,35
ε	2,20	2,42
σ^2	326,82	300,92
V	10,72	10,20

Der Mittelwert beträgt rechts $168,61 \pm 2,20\ cm^2$, links $170,07 \pm 2,42\ cm^2$.
Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte
rechts zwischen $121,24\ cm^2$ und $200,28\ cm^2$,
links zwischen $129,80\ cm^2$ und $203,21\ cm^2$.

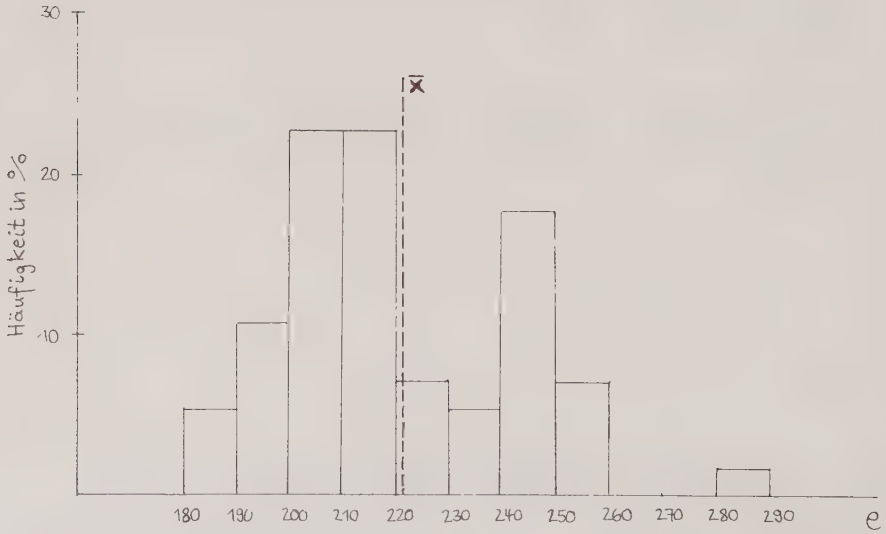
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant ($t = -0,47$; 116 Freiheitsgrade).

Abb. 9und 10: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 320 und 321)



Normalverteilung liegt vor ± σ 69,23 %

Statistische Sicherheit ± 2σ 100 %



Normalverteilung liegt nicht vor ± σ 61,40 %

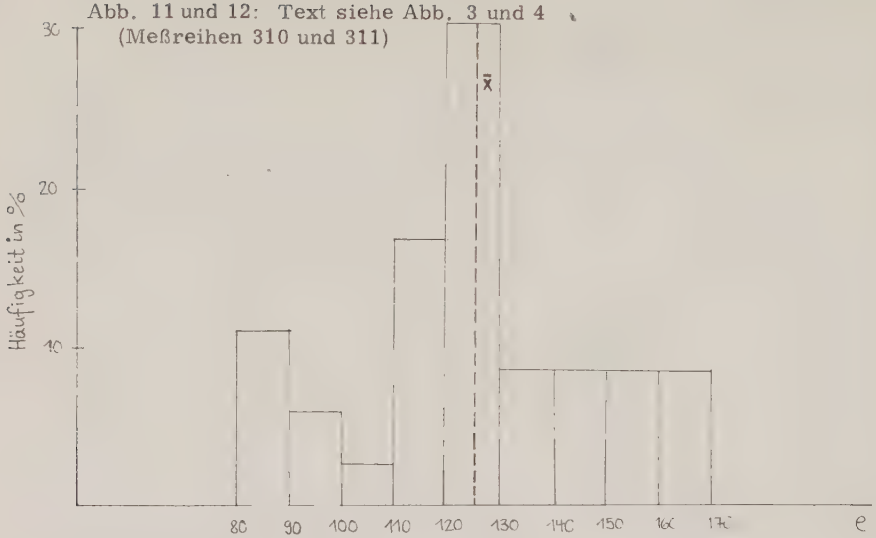
Tabelle 4: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 320 und 321	
	re	li
n	39	57
$\bar{x}(cm^2)$	165,78	220,88
$Ma(cm^2)$	232,42	281,64
$Mi(cm^2)$	115,22	182,97
σ	39,50	21,66
ε	6,32	2,87
σ^2	156,00	469,19
V	23,83	9,81

Der Mittelwert beträgt rechts 165,78 $\pm$ 6,32 cm^2, links 220,88 $\pm$ 2,87 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 115,22 cm^2 und 232,42 cm^2, links zwischen 182,97 cm^2 und 281,64 cm^2.

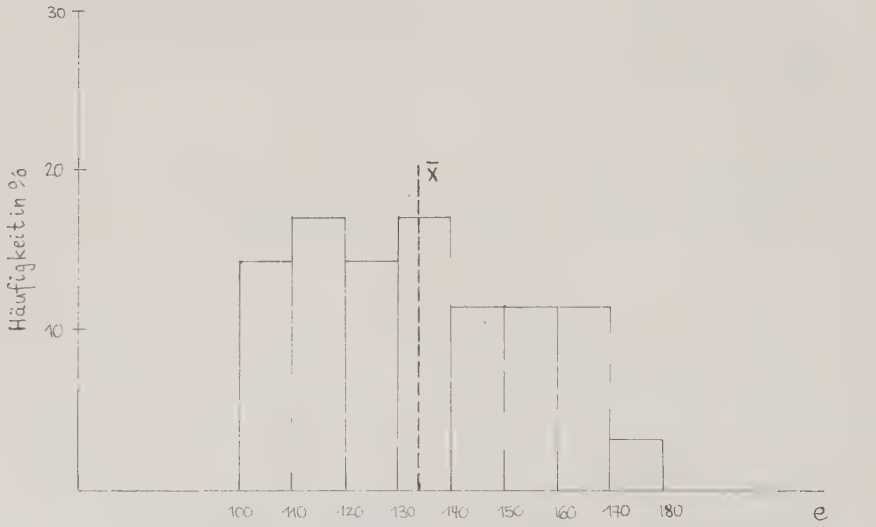
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,96; 94 Freiheitsgrade).

Abb. 11 und 12: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 310 und 311)



Normalverteilung liegt vor $\pm$ σ 68,67 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 100 %



Normalverteilung liegt nicht vor $\pm$ σ 54,28 %

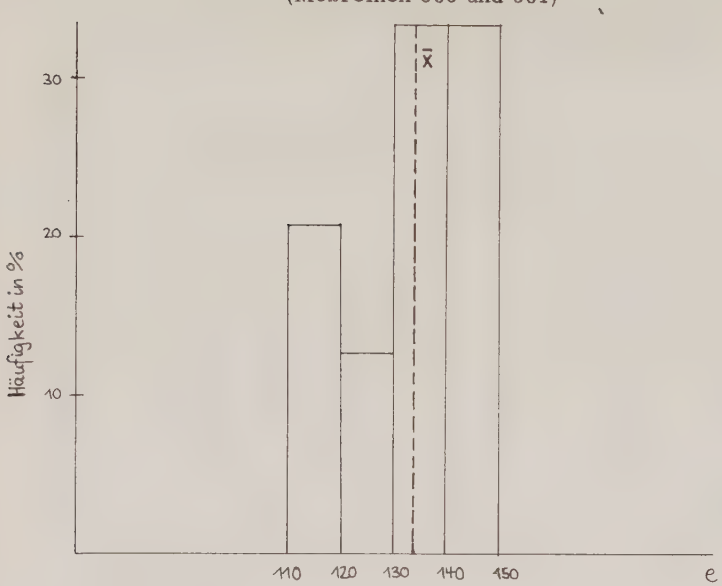
Tabelle 5: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 310 und 311	
	re	li
n	36	35
$\bar{x}(cm^2)$	125,27	134,07
$Ma(cm^2)$	164,93	175,36
$Mi(cm^2)$	80,31	105,27
σ	23,29	20,84
ε	3,88	3,52
σ^2	542,83	434,35
V	18,59	15,54

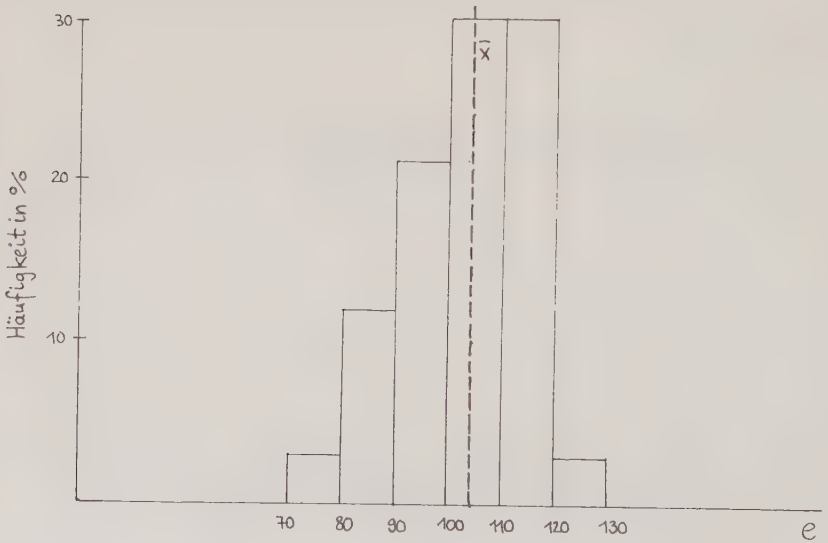
Der Mittelwert beträgt rechts 125,27 cm^2 $\pm$ 3,88, links 134,07 $\pm$ 3,52 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 80,31 cm^2 und 164,93 cm^2, links zwischen 105,27 cm^2 und 175,36 cm^2.

Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,10; 69 Freiheitsgrade).

Abb. 13 und 14: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 360 und 361)



Normalverteilung liegt nicht vor $\pm$ ó 54,17 %



Normalverteilung liegt vor $\pm$ ó 75,76 %

Statistische Sicherheit ± 2 ó 96,97 %

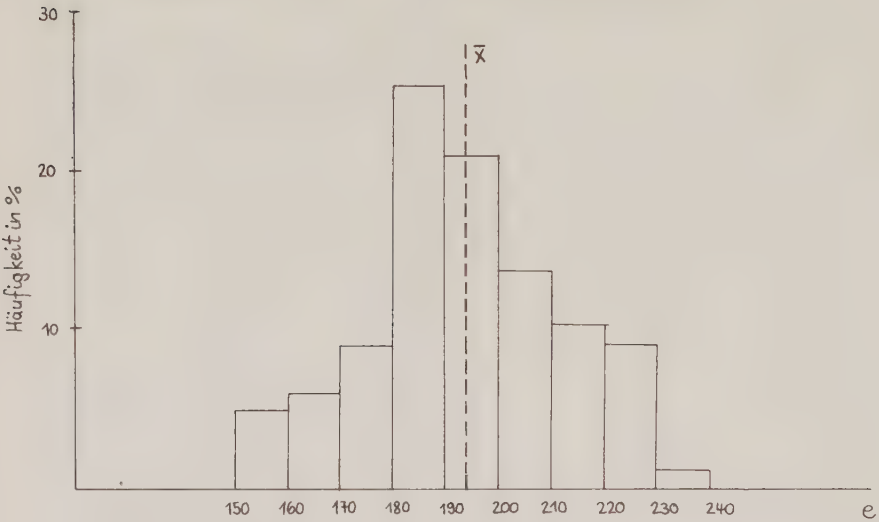
Tabelle 6: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 360 und 361	
	re	li
n	24	33
$\bar{x}(cm^2)$	133,81	103,91
$Ma(cm^2)$	147,25	125,76
$Mi(cm^2)$	112,05	76,71
σ	10,90	11,69
ε	2,22	2,04
σ^2	118,78	136,63
V	8,15	11,25

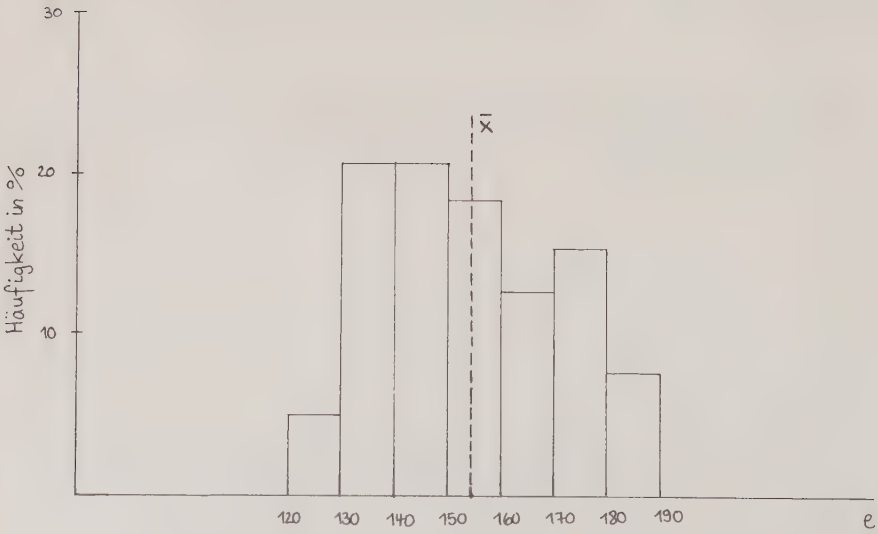
Der Mittelwert beträgt rechts 133,81 $\pm$ 2,22 cm^2, links 103,91 $\pm$ 2,04 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 112,05 cm^2 und 147,25 cm^2, links zwischen 76,71 cm^2 und 125,76 cm^2.

Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,77; 55 Freiheitsgrade).

Abb. 15 und 16: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 140 und 141)



Normalverteilung liegt nicht vor $\pm$ σ 62,69 %



Normalverteilung liegt nicht vor $\pm$ σ 64,10 %

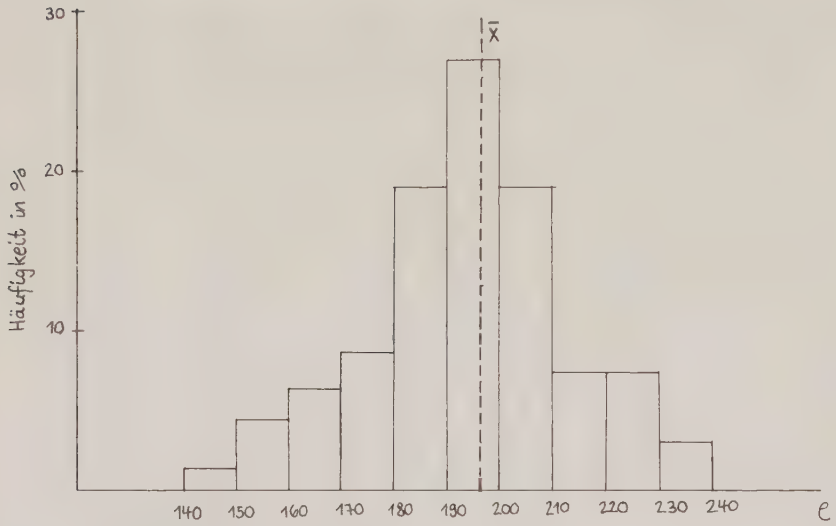
Tabelle 7: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 140 und 141	
	re	li
n	67	39
$\bar{x}(cm^2)$	193,77	154,40
$Ma(cm^2)$	232,82	181,20
$Mi(cm^2)$	151,01	123,40
σ	18,42	16,53
ε	2,25	2,65
σ^2	338,91	273,12
V	9,50	10,71

Der Mittelwert beträgt rechts 193,77 $\pm$ 2,25 cm^2, links 154,40 $\pm$ 2,65 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 151m01 cm^2 und 232,82 cm^2, links zwischen 123,40 cm^2 und 181,20 cm^2.

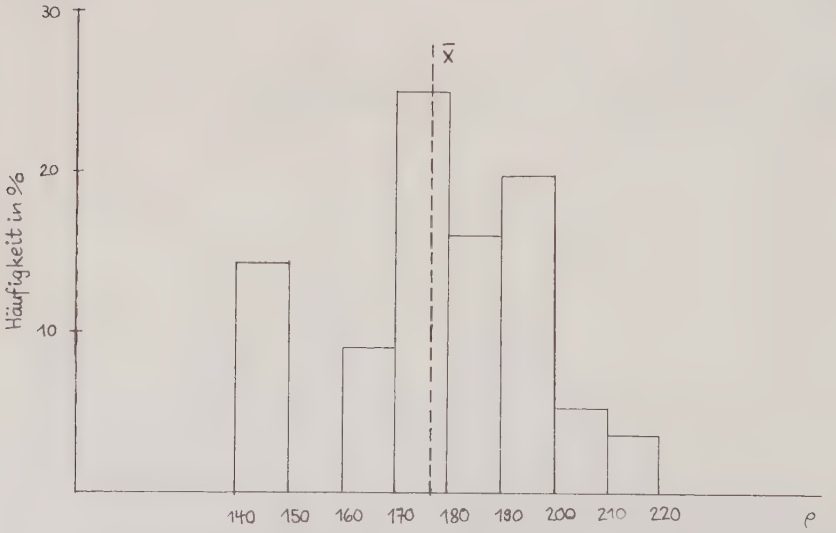
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = -0,54; 104 Freiheitsgrade).

Abb. 17 und 18: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 220 und 221)



Normalverteilung liegt vor $\pm \sigma$ 72,46 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 95,65 %



Normalverteilung liegt vor $\pm \sigma$ 68,67 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 100 %

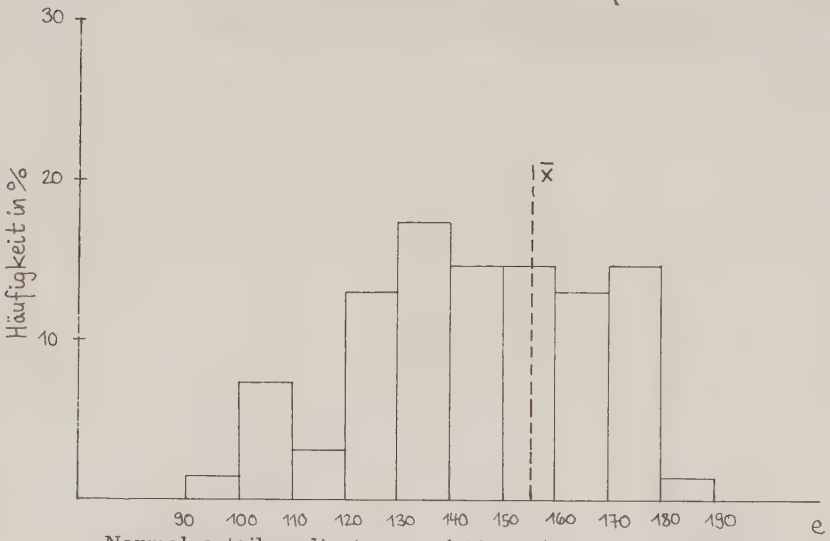
Tabelle 8: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 220 und 221	
	re	li
n	69	56
$\bar{x}(cm^2)$	196,05	176,90
$Ma(cm^2)$	239,26	211,70
$Mi(cm^2)$	142,47	143,25
σ	19,44	17,97
ε	2,34	2,40
V	9,92	10,16

Der Mittelwert beträgt rechts 196,05 $\pm$ 2,34 cm^2, links 176,90 $\pm$ 2,40 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 142,47 cm^2 und 239,26 cm^2, links zwischen 143, cm^2 und 211,80 cm^2.

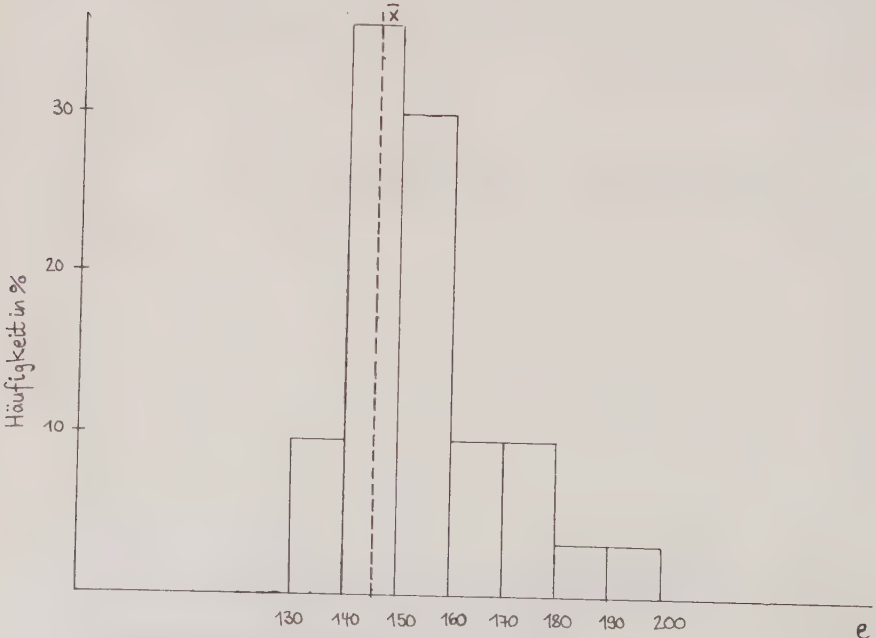
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,08 ; 123 Freiheitsgrade).

Abb. 19 und 20: Text siehe Abb. 3 und 4
(Meßreihen 261 und 260)



Normalverteilung liegt vor ± σ 68,66 %

Statistische Sicherheit ±2σ 97,10 %



Normalverteilung liegt vor ± σ 70,97 %

Statistische Sicherheit ±2σ 96,77 %

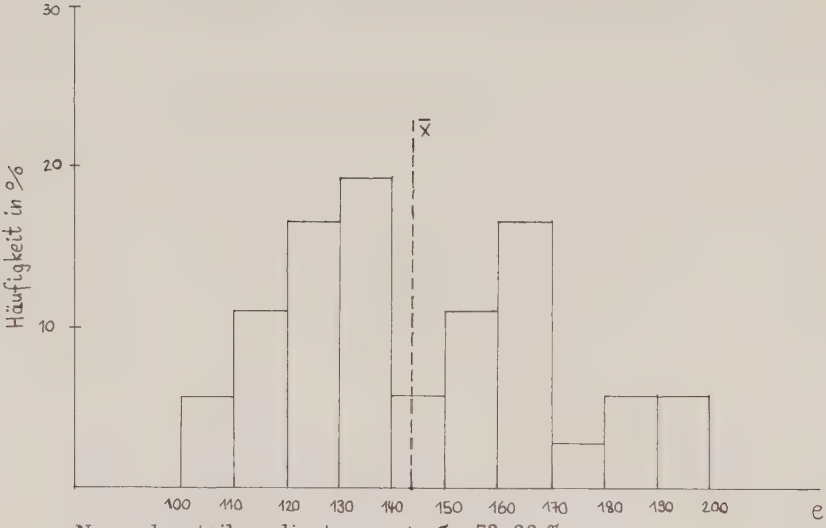
Tabelle 9: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 261 und 260	
	re	li
n	31	69
$\bar{x}(cm^2)$	155,62	146,06
$Ma(cm^2)$	197,68	190,03
$Mi(cm^2)$	137,25	100,25
σ	13,46	21,88
ε	2,42	2,63
σ^2	181,29	478,82
V	8,65	14,98

Der Mittelwert beträgt rechts 155,62 $\pm$ 2,42 cm^2, links 146,06 $\pm$ 2,63 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte
rechts zwischen 137,25 cm^2 und 197,68 cm^2,
links zwischen 100,25 cm^2 und 190,03 cm^2.

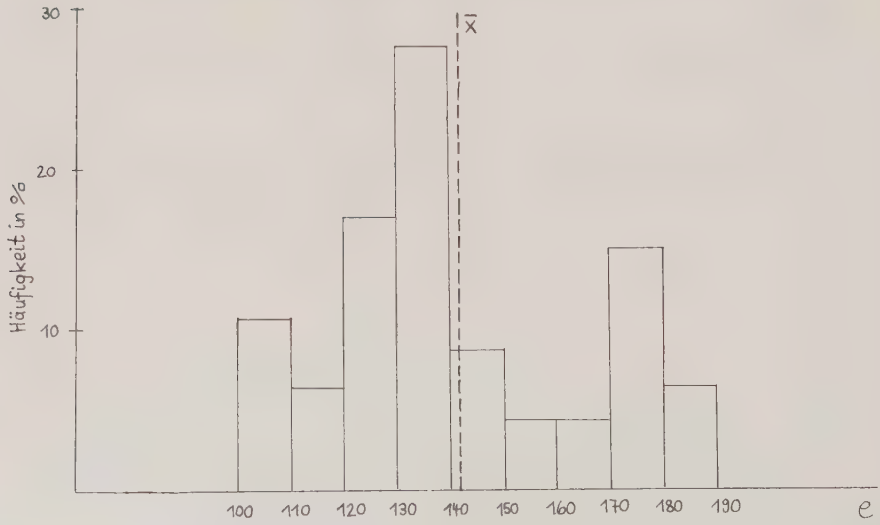
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = -0,25; 98 Freiheitsgrade).

Abb. 21und 22: Text wie Abb. 3 und 4
(Meßreihen 180 und 181)



Normalverteilung liegt vor $\pm \sigma$ 72,22 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\,\sigma$ 97,22 %



Normalverteilung liegt nicht vor $\pm \sigma$ 59,57 %

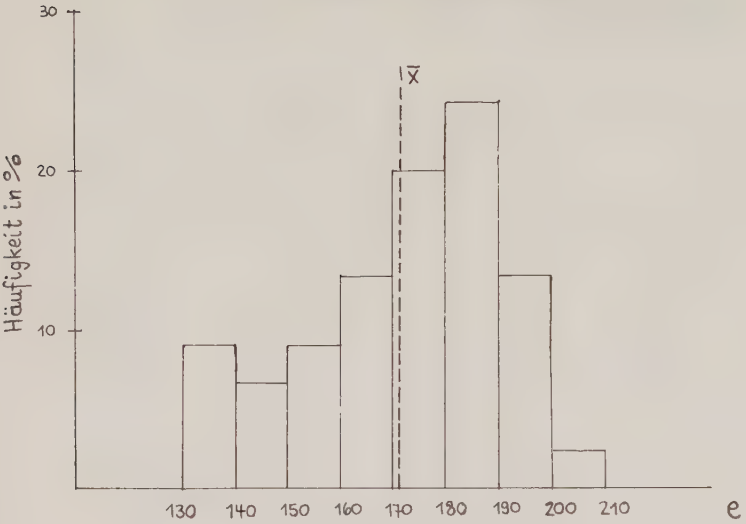
Tabelle 10: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 180 und 181	
	re	li
n	36	47
$\bar{x}(cm^2)$	144,32	141,84
$Ma(cm^2)$	197,89	188,47
$Mi(cm^2)$	107,59	101,81
σ	24,91	23,82
ε	4,15	3,47
σ^2	620,65	567,49
V	17,26	16,79

Der Mittelwert beträgt rechts $144,32 \pm 4,15\ cm^2$, links $141,84 \pm 3,47\ cm^2$. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen $107,59\ cm^2$ und $197,89\ cm^2$, links zwischen $101,81\ cm^2$ und $188,47\ cm^2$.

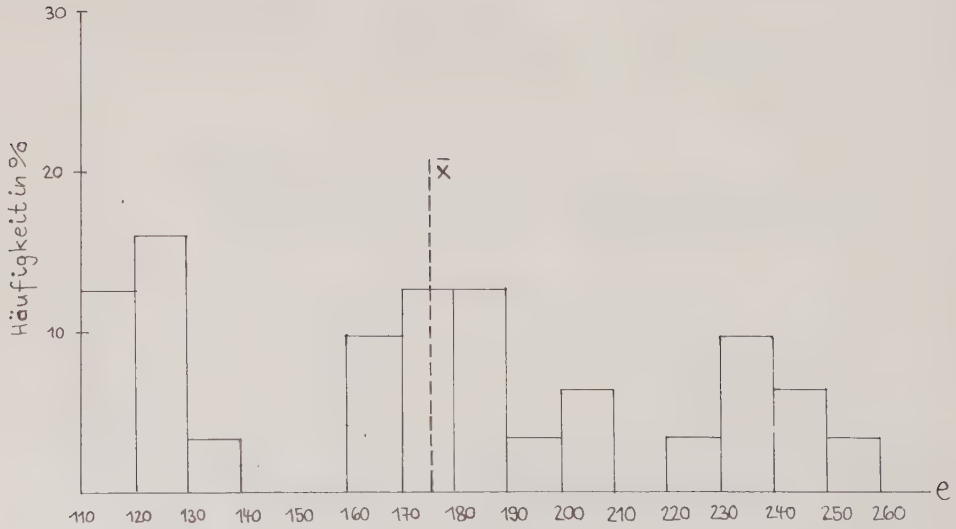
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant ($t = 0,38$; 81 Freiheitsgrade).

Abb. 23 und 24: Text wie Abb. 3 und 4 (Meßreihen 290 und 291)



Normalverteilung liegt vor ± σ 68,67 %

Statistische Sicherheit ±2 σ 97,78 %



Normalverteilung liegt nicht vor ± σ 48,38 %

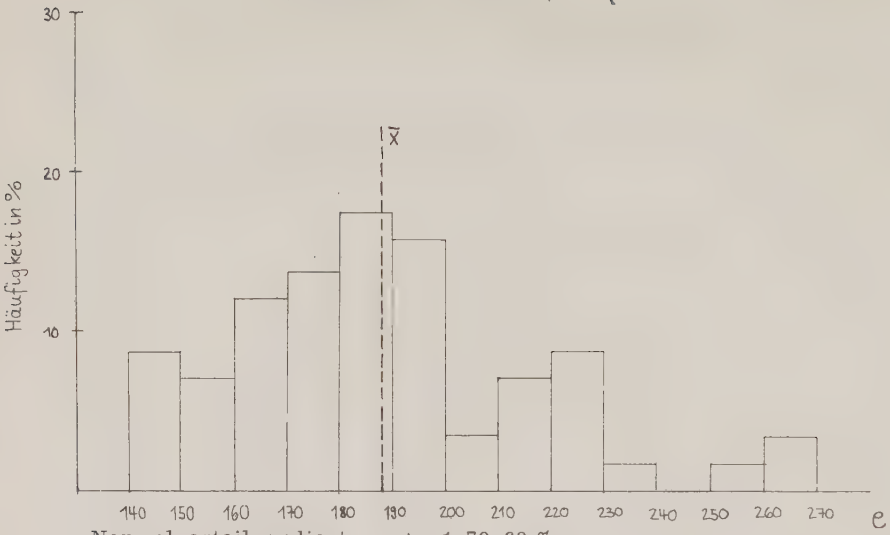
Tabelle 11: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 290 und 291	
	re	li
n	45	31
$\bar{x}(cm^2)$	170,82	176,03
$Ma(cm^2)$	200,63	256,00
$Mi(cm^2)$	133,84	114,00
σ	20,44	43,83
ε	3,05	7,87
σ^2	417,83	192,13
V	11,97	24,90

Der Mittelwert beträgt rechts 170,82 $\pm$ 3,05 cm^2, links 176,03 $\pm$ 7,87 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 133,84 cm^2 und 200,63 cm^2, links zwischen 114,00 cm^2 und 256,00 cm^2.

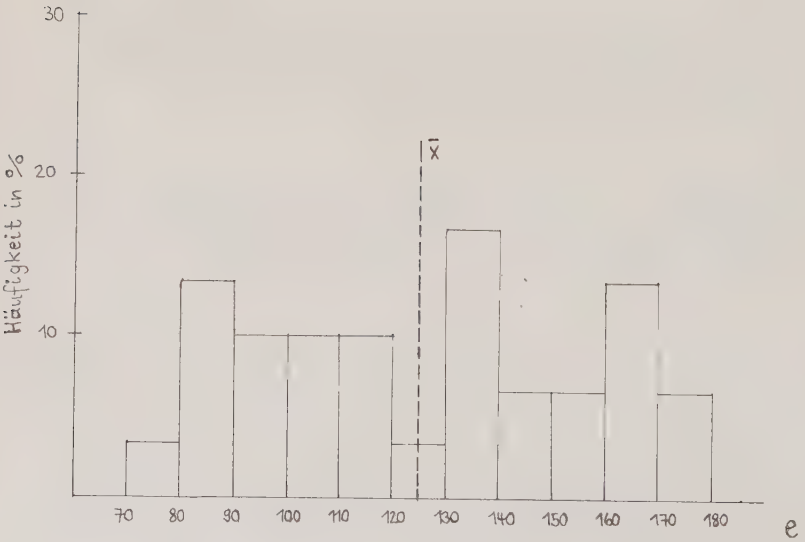
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,18; 74 Freiheitsgrade).

Abb. 25 und 26: Text wie Abb. 3 und 4
(Meßreihen 330 und 331)



Normalverteilung liegt vor ± σ 70,69 %

Statistische Sicherheit ±2 σ 94,83 %



Normalverteilung liegt nicht vor ± σ 56,67 %

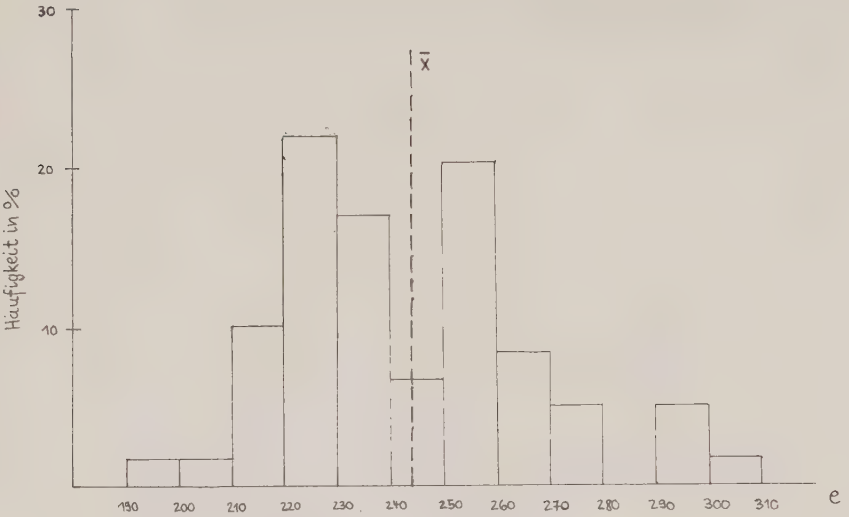
Tabelle 12: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 330 und 331	
	re	li
n	58	30
$\bar{x}(cm^2)$	188,47	124,97
$Ma(cm^2)$	267,48	177,92
$Mi(cm^2)$	142,15	79,00
σ	28,75	30,82
ε	3,77	5,62
σ^2	826,88	949,71
V	15,25	24,66

Der Mittelwert beträgt rechts 188,47 $\pm$ 3,77 cm^2, links 124,97 $\pm$ 5,62 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 142,15 cm^2 und 267,48 cm^2, links zwischen 79,00 cm^2 und 177,92 cm^2.

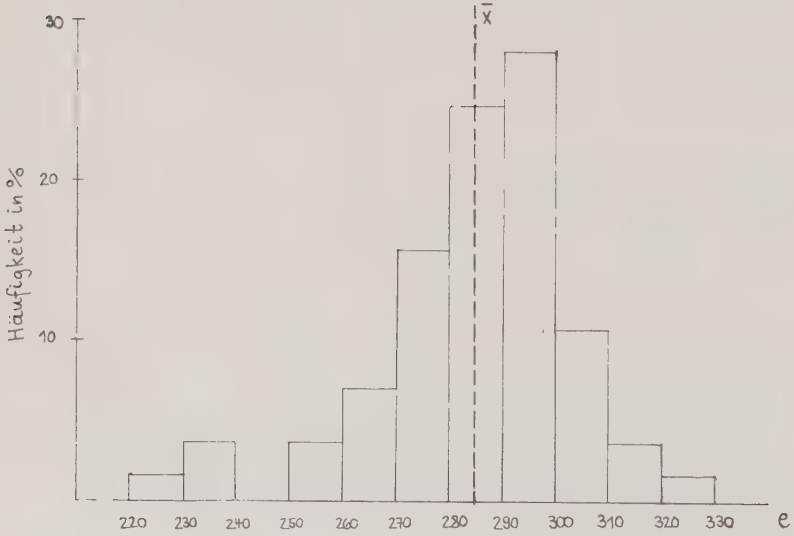
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant ($t = 0,04$; 86 Freiheitsgrade).

Abb. 27 und 28: Text wie Abb. 3 und 4
(Meßreihen 100 und 101)



Normalverteilung liegt vor ± ó 69,49 %

Statistische Sicherheit ± 2 ó 95,22 %



Normalverteilung liegt vor ± ó 73,58 %

Statistische Sicherheit ± 2 ó 95,74 %

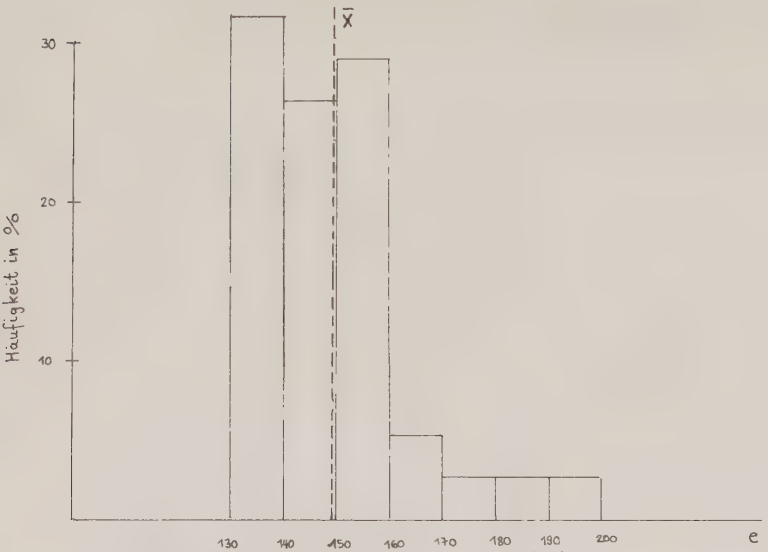
Tabelle 13: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 100 und 101	
	re	li
n	59	57
$\bar{x}(cm^2)$	243,55	285,00
$Ma(cm^2)$	305,18	321,10
$Mi(cm^2)$	154,39	226,63
σ	23,75	18,50
ε	3,09	2,45
σ^2	563,85	342,32
V	9,75	6,49

Der Mittelwert beträgt rechts 243,55 $\pm$ 3,09 cm^2, links 285,00 $\pm$ 2,45 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 154,39 cm^2 und 305,18 cm^2, links zwischen 226,63 cm^2 und 321,10 cm^2.

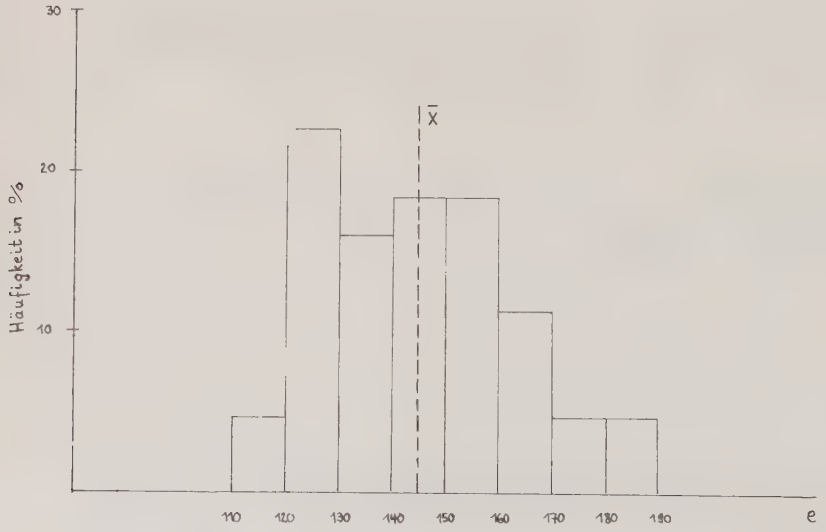
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant
(t = -0,19; 114 Freiheitsgrade).

Abb. 29 und 30: Text wie Abb. 3 und 4
(Meßreihen 10 und 11)



Normalverteilung liegt vor $\pm$ ó 68,42 %

Statistische Sicherheit ± 2 ó 95,73 %



Normalverteilung liegt vor $\pm$ ó 68,28 %

Statistische Sicherheit ± 2 ó 97,73 %

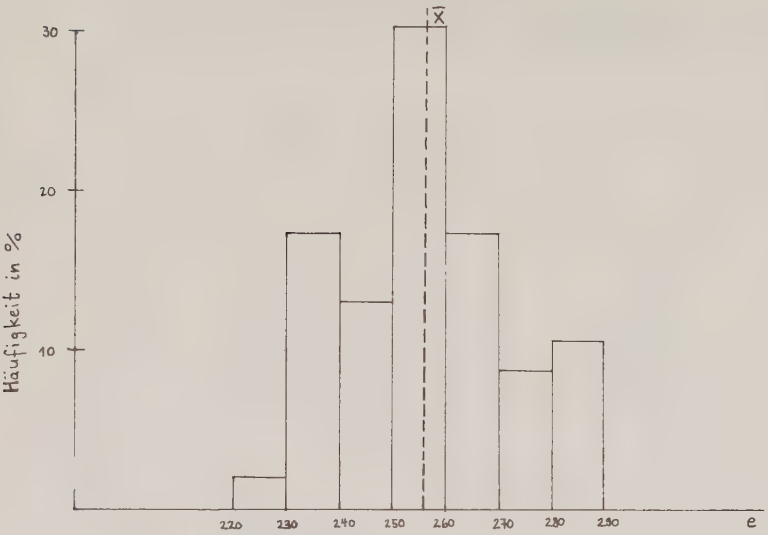
Tabelle 14: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 10 und 11	
	re	li
n	38	44
$\bar{x}(cm^2)$	149,62	144,87
$Ma(cm^2)$	192,06	187,38
$Mi(cm^2)$	131,72	114,05
σ	13,67	18,37
ε	2,22	2,77
σ^2	186,86	337,54
V	9,14	12,68

Der Mittelwert beträgt rechts 149,62 $\pm$ 2,22 cm^2, links 144,87 $\pm$ 2,77 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 131,72 cm^2 und 192,06 cm^2, links zwischen 114,05 cm^2 und 187,38 cm^2.

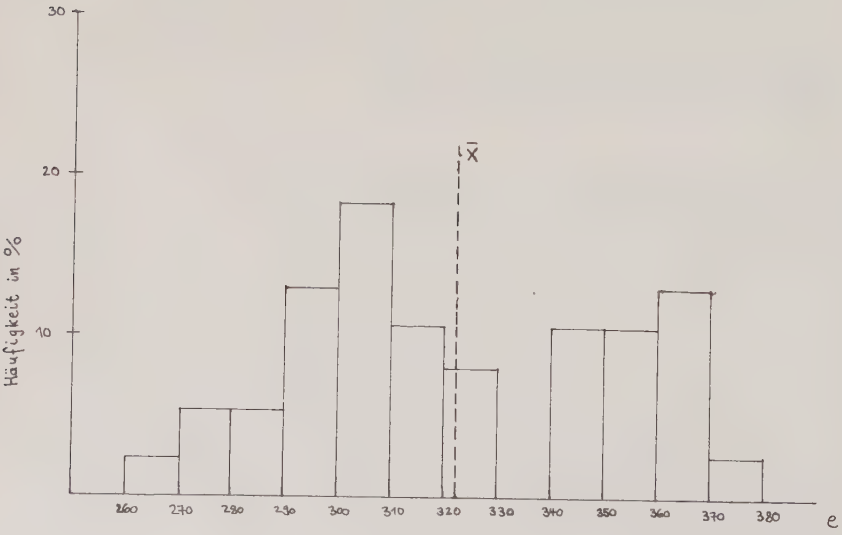
Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,06; 80 Freiheitsgrade).

Abb. 31 und 32: Text wie Abb. 3 und 4
(Meßreihen 90 und 91)



Normalverteilung liegt vor $\pm\sigma$ 69,39 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 97,82 %



Normalverteilung liegt vor $\pm\sigma$ 68,42 %

Statistische Sicherheit $\pm 2\sigma$ 100 %

Tabelle 15: Statistische Werte der Quadrate der Halbachse der jeweiligen Schnittellipse für alle Raumvektoren dieser Meßreihen

	Meßreihen 90 und 91	
	re	li
n	46	38
$\bar{x}(cm^2)$	256,12	322,37
$Ma(cm^2)$	289,29	378,29
$Mi(cm^2)$	227,07	267,24
σ	15,95	30,17
ε	2,35	4,90
σ^2	254,30	910,16
V	6,23	9,36

Der Mittelwert beträgt rechts 256,12 $\pm$ 2,35 cm^2, links 322,37 $\pm$ 4,90 cm^2. Im unteren und oberen Grenzbereich streuen die Werte rechts zwischen 227,07 cm^2 und 289,29 cm^2, links zwischen 267,24 cm^2 und 378,29 cm^2.

Der Unterschied der Mittelwerte von links und rechts ist nach dem t-Test nicht signifikant (t = 0,05 82 Freiheitsgrade).

II. DIE TRANSVERSALE DREHACHSE UND IHR KÜRZESTER ABSTAND ZUM BASION UND ZUR DEUTSCHEN HORIZONTALEN

1. Der Abstand vom Basion zum Bezugsnullpunkt (= Mittelpunkt) des Körpers, auf dessen Oberfläche die Condylenfunktionsfläche liegt. Dieser senkrechte Abstand ist der kürzeste Abstand zwischen Basion und der Achse um die die Nickbewegung läuft.

Tabelle 16: Abstand Basion - Transversalachse

n	15
$\bar{x}$ (mm)	20,53
Ma(mm)	27,00
Mi(mm)	11,00
σ	4,56
ε	1,18
Σd	-0,05
Σd^2	291,73
V	30,4

Der Mittelwert liegt bei 20,53 $\pm$ 1,18 mm, die Maxima und Minima liegen hier bei 27 mm und 11 mm.

Die transversale Drehachse ist dorsal vom Basion gelegen, in 13 Fällen dorsocranial und in zwei Fällen dorsocaudal vom Basion.

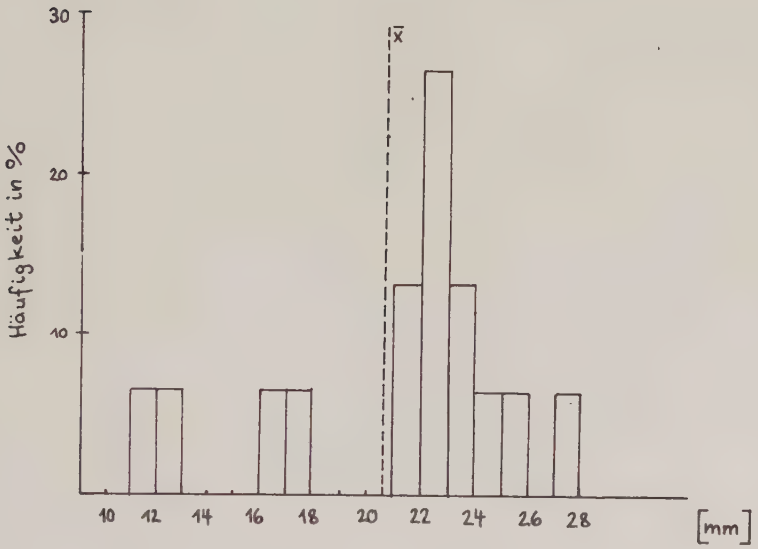


Abb. 33: Abstand Basion - transversale Drehachse

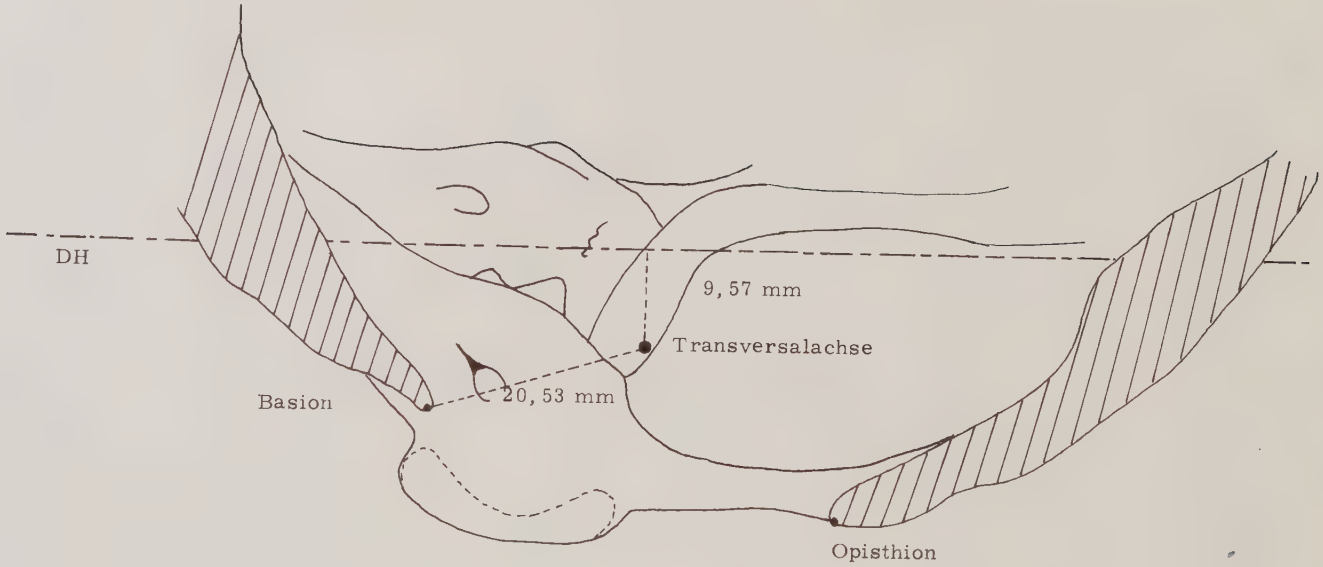


Abb. 34: Abstand Basion zur Transversalachse
und Bezugsnullpunkt zur Deutschen Horizontalen

VAKAT

2. Kürzester Abstand der transversalen Drehachse zur Ebene, die durch die beiden Deutschen Horizontalen festgelegt wird.

Tabelle 17: Abstand Transversalachse - Deutsche Horizontale

n	15
$\bar{x}$	9,57
Ma(mm)	13,3
Mi(mm)	6,4
σ	1,76
ε	0,45
Σ d	0,05
Σd^2	43,23
V	11,73

Es ergab sich an Mittelwert 9,57 mm $\pm$ 0,45 mm, das Maximum ergab 13,3 mm, das Minimum 6,4 mm. Der kürzeste Abstand der transversalen Drehachse zur Ebene, die durch die Deutschen Horizontalen festgelegt ist, entspricht dem Abstand des Mittelpunktes der Rotationsellipse zu dieser Ebene.

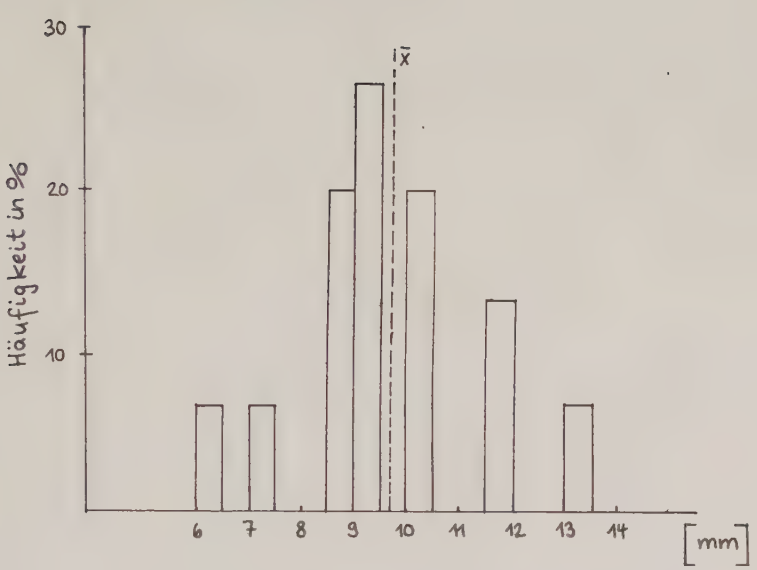


Abb. 35: Abstand Transversalachse - Deutsche Horizontale

III. VOLUMENINHALT DER GELENKKAPSEL DES ATLANTO-OCCIPITALGELENKES

Bei der Bestimmung des Volumeninhaltes gelang uns nicht in jedem Fall eine Darstellung der Gelenkkapsel. Es waren deshalb nicht alle Ausgüsse verwertbar, da entweder der Gelenkspalt nicht exakt getroffen wurde oder die Präparate bereits Beschädigungen aufwiesen.

	re	li
n	10	10
$\bar{x}$ (cm^3)	0,769	0,772
Ma(cm^3)	1,38	1,30
Mi(cm^3)	0,52	0,39
σ	0,279	0,283
ε	0,088	0,089
Σd^2	0,703	0,723
V	36,28	36,65

Tab. 18: Volumina des Atlanto - Occipitalgelenkes

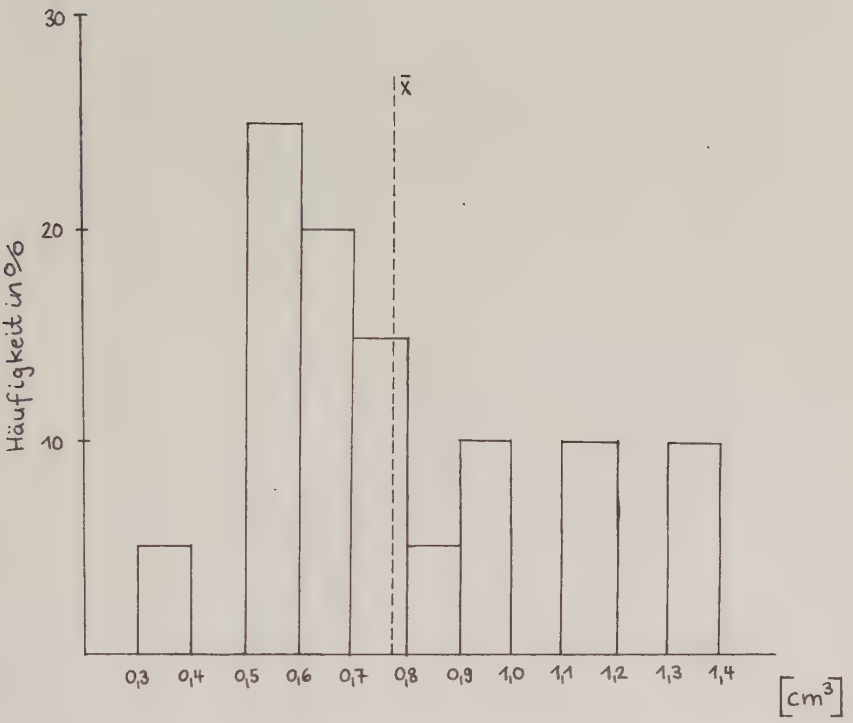


Abb. 36: Volumina des Atlanto - Occipitalgelenkes

Der Mittelwert beträgt rechts 0,793 $\pm$ 0,088 cm^3, links 0,772 $\pm$ 0,089 cm^3. Die Maxima und Minima liegen bei 1,38 cm^3 und 0,52 cm^3 rechts, und 1,30 cm^3 und 0,39 cm^3 links.
Der Unterschied der Mittelwerte ergab im t-Test keine Signifikanz (t = 0; 18 Freiheitsgrade).

	re	li
61 ♂	0,69	0,90
56 ♀	0,52	0,53
74 ♂	1,38	1,30
61 ♂	0,78	0,84
76 ♂	0,53	---
57 ♂	0,92	---
58 ♂	0,61	---
41 ♂	0,61	---
72 ♂	1,16	---
73 ♀	0,55	---
64 ♂	---	0,39
59 ♂	---	0,71
63 ♀	---	0,69
68 ♂	---	0,51
58 ♀	---	0,71
63 ♂	---	1,14

Tab. 19: Einzelwerte der Volumina des Atlanto -Occipitalgelenkes in cm^3

IV. UNTERSCHIEDLICHE ANSATZHÖHEN DER GELENKKAPSEL

Die Ansatzhöhen, die mit einer in der Zahnheilkunde verwendeten Paradontalsonde gemessen wurden, bezeichnen wir als sogenannte innere Anheftungen. Da im Condylusbereich jeweils der caudalste Punkt, und im Atlasbereich jeweils der cranialste, bezogen zum senkrecht darunter liegenden der Condylusfläche bzw. darüberliegenden der Atlasfläche, gemessen wurde.

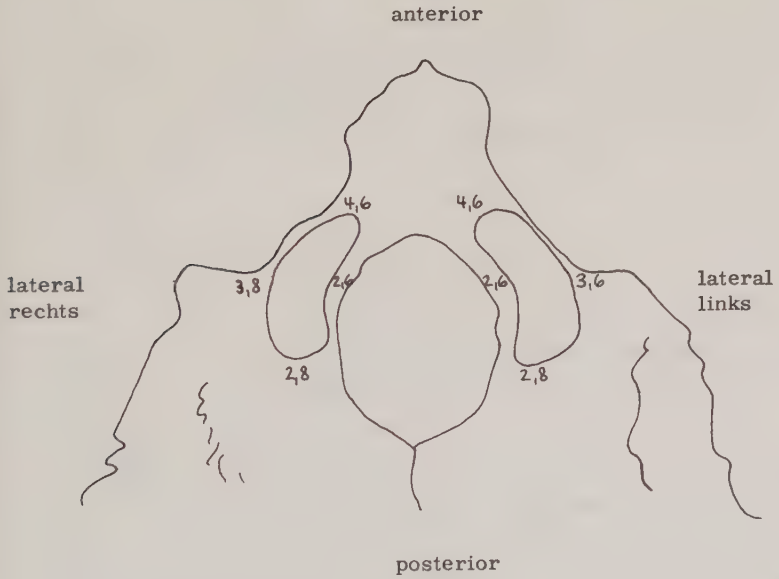


Abb. 37: Occipitale von caudal aus betrachtet.
Ansatzhöhen der Gelenkkapsel im Mittelwert

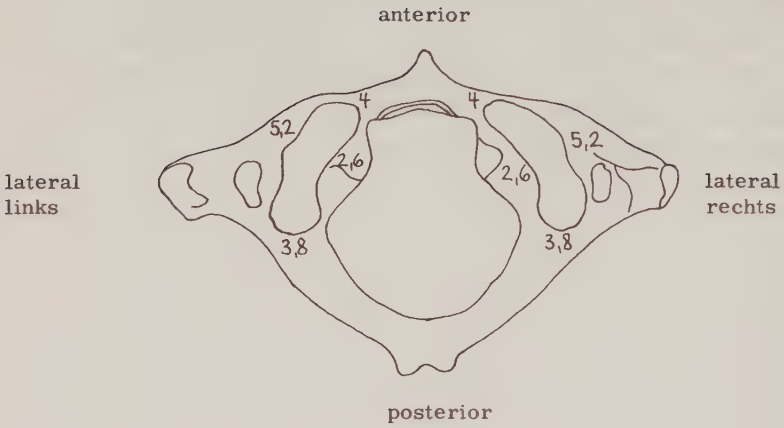


Abb. 38: Atlas von cranial aus betrachtet.
Ansatztiefen der Gelenkkapsel im Mittelwert

Es ergab sich bei der Messung an 35 Feuchtpräparaten für die Ansatzhöhen der Gelenkkapsel am Occipitale im anterioren Bereich rechts sowie links ein Wert von 4,6 mm im Mittel. Für den posterioren Bereich ermittelten wir rechts wie links einen Wert von 2,8 mm im Mittel. Für medial gilt an beiden Seiten 2,6 mm und lateral 3,8 mm rechts und 3,6 mm links.

	ant.	post.	med.	lat.
$\bar{x}$ (mm)	2,8	4,6	2,6	3,6 li 3,8 re
Streuungs-breite	3-6	2-3	1-5	2-6 re 2-5 li

Tab. 20: Ansatzhöhen am Occipitale

Für die Ansatztiefen am Atlaskörper gilt: Im anterioren Bereich beidseits 4 mm, sowie im posterioren Bereich im Mittel beidseits 3,8 mm. Medial und lateral liegt der Mittelwert beidseits bei 2,6 mm und 5,2 mm.

	ant.	post.	med.	lat.
$\bar{x}$(mm)	4	3,8	2,6	5,2
Streu-ungs-breite	3-5 re	3-5	2-3	5-6
	2-5 li	3-5	2-3	5-6

Tab. 21: Ansatztiefen am Atlas

Recessus am Atlanto-Occipitalgelenk

Ein cranialer anteriorer Recessus und ein lateraler caudaler Recessus konnten in allen Fällen ermittelt werden.
Der craniale anteriore (also vor den Condylen liegende) Recessus stellte sich durch einen im Mittel um 2 mm höheren Ansatz am Occipitale gegenüber der restlichen Kapsel dar.

Der caudale laterale (also neben den Atlasflächen liegende) Recessus stellte sich durch einen im Mittel um 2,6 mm tieferen Ansatz am Atlaskörper gegenüber der restlichen Kapsel dar.

D. DISKUSSION

Wir versuchten eine dreidimensionale Betrachtung und Berechnung der zusammenwirkenden Gelenkflächenausschnitte der Condyli occipitales. Es wurde dabei der Versuch gemacht, mit einer neuen Methode die Gelenkflächen funktionell und nicht nur morphologisch zu erfassen. Es gelang über eine reine Beschreibung hinaus der exakte mathematische Vergleich mit einem dazu von seiner Oberflächenstruktur dem Bewegungsablauf im oberen Kopfgelenk - vertreten durch die Condylenfläche - am besten geeigneten und sich am besten anschmiegenden geometrischen Körper. Die Berechnungen führten beim Vergleich mit einem elliptischen und einem hyperbolischen Paraboloid, sowie einem parabolischen und hyperbolischen Zylinder zu keinen greifbaren Ergebnissen. Erst beim Vergleich mit einem reellen Ellipsoid, in unserem Fall spezieller einem Rotationsellipsoid, kamen wir auf vernünftige Ergebnisse. Wir fanden bei allen untersuchten Gelenken bis zu einem Grenzwert von 12 mm occipital des Basion eine Übereinstimmung des sagittalen Bewegungsablaufes um eine Transversalachse, während man weiter dorsal nicht von einem einheitlichen Bewegungsablauf sprechen kann.
Entsprechend der rostral miteinander Winkel bildenden Längsachsen der Condyli occipitales und dem seitlichen Anstieg der Gelenkflächen werden beide Condyli zusammengefaßt als ein unterbrochener Gelenkkörper, der die Form eines Ellipsoids besitzt, bezeichnet. Die vier Gelenkkörper der Articulatio atlanto-occipitalis bilden miteinander sphärische Gelenkausschnitte und können nur zusammen wirken. Vorteilhaft für die Stabilität sind die relativ weit auseinander stehenden Condyli occipitales, welche die Schwere des Kopfes zum Teil auf die Corpora vertebrae, zum Teil auf die Massae laterales des Atlas beziehungsweise die Processus costotransversarii der Wirbelsäule übertragen (Fick, 1911).

Nach unseren Berechnungen entsprechen die größten Abschnitte beider Condyli Teilflächen eines reellen Ellipsoids, dessen quere Drehachse (und Mittelzone) 20,53 $\pm$ 1,18 mm unter der DH und 9.57 $\pm$ 0,45 mm dorsal des Basion liegt.

Die lange Achse dieser abgewandelten Articulatio spheroidea ist in der Transversalen orientiert. Linke und rechte Gelenke wirken zusammen und sind um die größere Transversalachse sowie um eine kleinere Longitudinalachse beweglich. Um die Transversalachse finden Flexions- und Extensionsbewegungen, um die longitudinale Kopfneigen nach der einen und anderen Seite statt. Rotationen sind im oberen Kopfgelenk nicht möglich.
Nach Fick (1904) gibt es bereits den Versuch der Betrachtungen der Funktion des Atlanto-Occipitalgelenkes mit den Oberflächenabschnitten eines Eies oder einer Zitrone, die der Form eines Rotationsellipsoides nahe kommt.
Knese hingegen (1936) betrachtet die Condylenflächen rein morphologisch als Ausschnitte von zwei Eikörpern nur an Hand der Tatsache, daß die Condylenlängsachsen konvergieren. Bei einem dreidimensionalen Vergleich kann man diese Betrachtungsweise nicht bestätigen. Weiterhin betrachtet Knese (1948) die Krümmungsverhältnisse auch in den konvergierenden Längsachsen, während wir rein sagittale Schnittreihen durch die Condylenflächen legten. Man kann sich wohl die konvergierenden Condylenfunktionsflächen so vorstellen, daß bei einer reinen Lateralflexion die sagittale Rotationsachse nach lateral wandert, um die Schwerpunktsänderung auszugleichen. "Entscheidend für die Statik des menschlichen Kopfes ist jedoch die Tatsache, daß der Schwerpunkt über der Stützfläche liegt (ca. 40 mm nach Fick 1911, 34 bis 36 mm nach Schultz 1942). Es kann im Idealfall der Schwerpunkt des Kopfes innerhalb der Stützfläche liegen, so daß sich der Kopf physikalisch im stabilen Gleichgewicht befindet und somit die Kopfhaltung rein

passiv gewährleistet ist. Dies ist jedoch ein Spezialfall, der fast nur bei aufrechter Haltung des Körpers in Ruhestellung (Normalhaltung oder Ruhehaltung nach Fick, 1911) und Dorsalflexion des Kopfes gilt, während schon eine geringe Vorwärtsbeugung des Rumpfes oder eine Ventralflexion der Halswirbelsäule, wie sie bei den meisten Tätigkeiten vorliegt, zu einer Kippung des Kopfes führt, so daß das Schwerpunktlot wie bei den vierfüßigen Säugetieren vor die Unterstützungsfläche fällt. Aber auch bei Seitwärtsneigung der Wirbelsäule bzw. des Rumpfes in der Frontalebene kann infolge des aufrechten Ganges und der großen Beweglichkeit der Wirbelsäule der Schwerpunkt des Kopfes außerhalb der seitlichen Begrenzung der Stützfläche verlagert werden . ... Das heißt, daß der Kopf des Menschen ... in potentiell unendlich viele Ebenen durch aktive Gegenkräfte stabilisiert und balanciert werden muß. Diese Stabilisierung wird durch die sich zwischen Kopf und Körper ausspannenden Weichteile erreicht, die neben der Schwere des Kopfes auch den Gelenkschluß im Kopfgelenk bewirken und mit Stabilisierungsstauen eines Luftballons verglichen werden können" (Knese 1948: S. 96 zitiert nach Bernhard, 1976).

Die Abhängigkeit der Form der Condyli occipitales vom Bewegungsablauf im oberen Kopfgelenk zeigt sich bereits dadurch, daß bei Keimlingen und Kindern die Condyli mehr oval oder eiförmig mit rostral zugespitzten Enden entwickelt sind, die dann später im allgemeinen Nierengestalt annehmen, während die oft vorkommenden Einkerbungen in der Mitte als entwicklungsgeschichtlich bedingt und nicht funktionell zu betrachten sind, da sie die embryonalen Grenzen zwischen den paarigen Occipitalia lateralia und dem unpaarigen Basiooccipitale darstellen.

Fick (1911) gibt die Dorsal- und Ventralflexion als um eine mittlere transversale Kompromißachse an, während Knese (1949/50) diese Kompromißachse als gekrümmte Evolutenfläche angibt. Stanislaus (1975) zeigte bereits die Problematik einer Evoluten- bzw. Evolventenberechnung. Es kommt der Gesamtfunktion des Atlanto-Occipitalgelenkes näher, von einer dreidimensionalen

Betrachtung, wie in unserem Falle ermittelt, auszugehen und bis zu einem Grenzwert von 12 mm dorsal des Basion von einem einheitlichen Bewegungsablauf zu sprechen. Die weitere Dorsalflexion ist nicht einheitlich zu ermitteln. Selbst Fick (1911) sagt: "Oft ist zwischen vorderem und hinterem Abschnitt kein Krümmungsunterschied ausgeprägt, so daß die Bewegung dann um eine einheitliche Krümmungsachse erfolgen kann." Es wird angenommen, daß bei flachen gleichmäßig gekrümmten Condyli ausgiebigere Bewegungen als bei Vorliegen sogenannter prismatischer Condyli möglich sind (Knese, 1949/50). Die Lateralflexion ist am ausgiebigsten bei leichter Ventralflexion durchzuführen und bei ausgesprochener Dorsalflexion unmöglich, da weit dorsal annähernd plane Gelenkflächen vorliegen. Bei extremer Ventralflexion hemmt der Arcus anterior des Atlas die Lateralflexion. Nach Knese (1949/50) liegt die sagittale Seitneigungsachse nicht in der Horizontalen, sondern steigt vom Opisthion zur Glabella an. Bei Lateralflexion verlagert sie sich in hinteren Abschnitten zur Neigungsseite, in vorderen entsprechend der Zwangsrotation zur Gegenseite.

Zur von uns durchgeführten Volumenberechnung des Gelenkspaltes der Articulatio atlanto-occipitalis ist festzustellen, daß sich bisher in der Literatur keine Angaben finden, auch die Methode der Gelenkausgüsse wurde neu entwickelt nach einer Modifizierung der Methode von Hoffmann (1973). Um die Bedeutung der Volumenberechnung richtig einzuschätzen, muß man beachten, daß sich in jedem Fall die Kapsel aufbläht bei Injektion des Kunststoffes. Der ermittelte cranial-anteriore und der caudal-laterale Recessus sind als Reservestrecken des Kapselapparates zu deuten, wobei der cranial-anteriore bei extremer Dorsalflexion und der caudal-laterale bei extremer contralateraler Seitneigung als Reservestrecke dient.

E. ZUSAMMENFASSUNG

1. Für den Bewegungsablauf im Atlantooccipitalgelenk wurde mittels einer neuen Methode ein exakter dreidimensionaler mathematischer Vergleich mit Hilfe des Computers (T-50) des Rechenzentrums der Universität Würzburg durchgeführt. Es ergab sich dabei die Formel für ein reelles Ellipsoid:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1;$$

2. Es wurde der kürzeste Abstand der transversalen Drehachse sowohl zum Basion, als auch zur Deutschen Horizontalen ermittelt:

   a) Abstand Transversalachse - Basion: $20,53 \pm 1,18$ mm
   b) Abstand Transversalachse - Deutsche Horizontale: $9,57 \pm 0,45$ mm.

3. Der Volumeninhalt des Atlanto-occipitalen Kapselapparates beträgt im Mittel:
   rechts $0,793 \pm 0,088$ cm^3 und links $0,772 \pm 0,089$ cm^3.
   Im t-Test ergab sich keine Signifikanz ($t = 0$; 18 Freiheitsgrade)

4. Es wurden die Ansatzhöhen und -tiefen am Occipitale und am Atlaskörper bestimmt.
   Dabei ermittelten wir einen cranial-anterioren und caudal-lateralen Recessus, die wir als Reservestrecken der Kapsel deuteten.

ANHANG

Perspektivische Computerzeichnungen durch Ergänzung der Funktionsflächen der Condyli occipitales zum vollständigen Ellipsoid im Mittelwert der Meßreihen

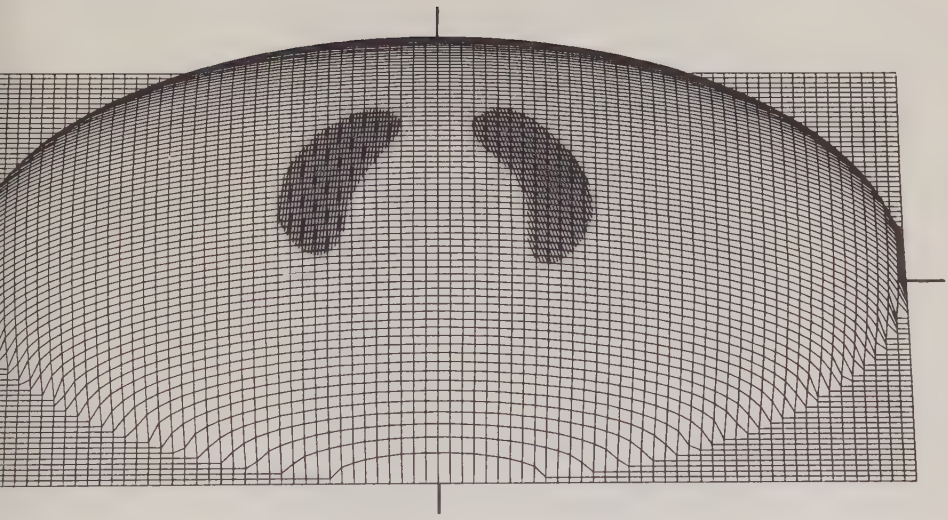


Abb. 39: Ellipsoid über die Fläche der condyli occipitales von caudal in der Mediansagittalen gesehen (Blickwinkel 60^{o})

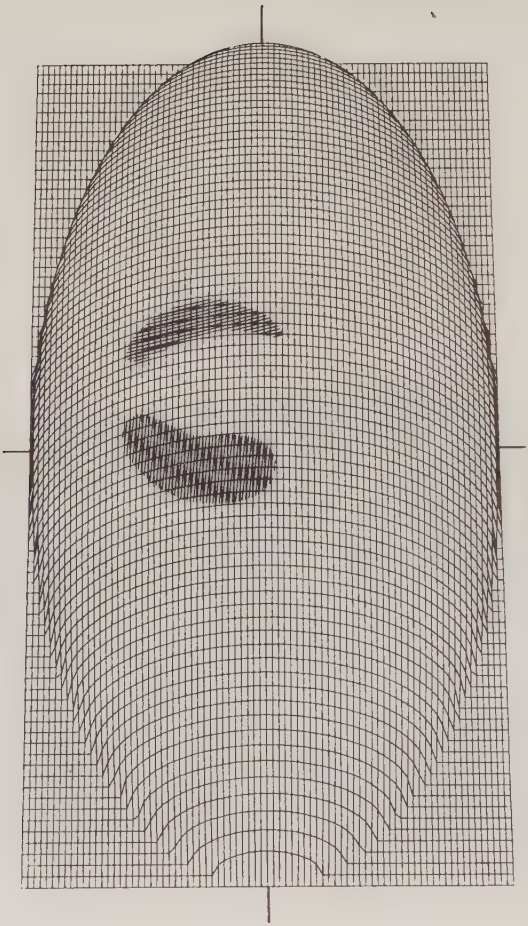


Abb. 40: Ellipsoid über die Fläche der Condyli occipitales von caudal in der Transversalen durch den Drehpunkt gesehen
(Blickwinkel 60^{o})

Herrn Professor Dr. med. J. Lang danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas, seine Anregungen und freundliche Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit.

Herrn Dr. med. M. Schmidt danke ich für seine vielen Anregungen.

Herrn Dieter Perlowski vom Rechenzentrum der Universität Würzburg danke ich für die Ausarbeitung und Durchführung der Programme, ohne die die Berechnungen nicht möglich gewesen wären.

Herrn Hippeli, dem wissenschaftlichen Zeichner des Anatomischen Instituts, danke ich für die Hilfe zur Anfertigung der Zeichnungen.

F. LITERATURVERZEICHNIS

BERNARD, W.: Kraniometrische Untersuchungen zur funktionellen Morphologie des oberen Kopfgelenkes beim Menschen. Gegenbauers morph. Jahrb., Leipzig 122 2, S. 203 - 231 und 4, S. 497 - 534 (1976)

FICK, R.: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Teil I: Anatomie der Gelenke. Jena (1904), S. 90, 113
Teil III: Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. Jena 52 (1911)

GAUPP, E.: Über die Kopfgelenke der Säuger und des Menschen in morphologischer und funktioneller Beziehung. Anat. Anz. Erg. H. 32, S. 181 - 192 (1908)

HENKE, W.: Anatomie und Mechanik der Gelenke. Leipzig (1863), Z. rat. Med.; 3. R., 2 , S. 114 - 118 (1858)

HULTKRANTZ, J.V.: Zur Mechanik der Kopfbewegung des Menschen. Kung. Svenska Vetenskap. Handl. 49, 8, S. 3 - 38 (1912)

INGELMARK, B.E.: Über das craniovertebrale Grenzgebiet beim Menschen. Acta. Anatomica, Suppl. 6 , S. 1 - 116 (1947)

KNESE, K.H.: Das Kopfgelenk der aquatilen Säugetiere. Gegenbaur's morph. Jahrb. 78, S. 314 - 376, S. 428 (1936)
Kopfgelenk, Kopfhaltung und Kopfbewegung des Menschen. Z. Anat. Entw. gesch. 114, S. 67 - 107 (1948)

MARTIN, R. und SALLER, K.: Lehrbuch der Anthropologie, Bd. I Verlag Stuttgart, S. 120 - 122 (1957)

NIEDERFEILNER, J.: Zur Formentwicklung der Pfannenregion des menschlichen Kiefergelenks. Inaug. Diss. Würzburg (1975)

PERNKOPF: Topographische Anatomie 5 P III (1952), S. 414, S. 424 und 425. Urban und Schwarzenberg. Unsere Abbildung 2 ist eine Umzeichnung nach Vorlage von Tafel 113

ROTTMANN: Mathematische Formelsammlung (1972) BI-Hochschultaschenbücher S. 62 und S. 63

SCHILLER, A.: Caput mandibulae: Einstellung, Form und Knorpelfläche. Inaug. Diss. Würzburg 1978

SCHMIDT, H.M.: Gelenkflächenform und Spaltlinienbild der Trochlea tali. Verh. Anat. Ges. 70, S. 621-626 (1976)

STANISLAUS, R.: Zum Problem der Bestimmung von Gelenkflächenkrümmungen. Verh. Anat. Ges. 70, 615-620 (1976)

SERGI, G.: Sull assimetria dei condili occipitali nell' uomo. Atti Soc. Rom. Antrop. 15, S. 173 - 186 (1909/1910)

STRASSER, H.: Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik. Berlin: J. Springer 1917

STRECKER, C.: Über die Condylen des Hinterhauptes. Arch. Anat. Physiol., Anat. Abt. S. 320 - 325 (1887)

VIRCHOW, H.: Die sagittale Flexion am Hinterhauptsgelenk von Säugetieren. Sitz. ber. Ges. Naturforsch. Freunde Berlin, S. 43 - 69 (1907)

LEBENSLAUF

Am 2.6.1950 wurde ich, Ernst-Walter Johannes Fuchs als Sohn des heutigen Rechtsanwaltes Horst Fuchs und seiner Ehefrau Edith, geb. Fiedler in Schweinfurt/Bayern geboren.

Von September 1956 an besuchte ich die Volksschule in Schweinfurt. Von September 1961 an besuchte ich das Celtis-Gymnasium in Schweinfurt mit seinem humanistischen Zweig und wechselte 1968 an das Franken-Landschulheim Schloß Gaibach, an dem ich am 12. Juni 1972 das Abitur ablegte.

Seit dem Wintersemester 1972/73 war ich an der Julius Maximilians-Universität in Würzburg immatrikuliert, zuerst für die Fächer Chemie/Physik (Höheres Lehramt) und Mineralogie.

Nach Erhalt der Zulassung zum Studium der Zahnheilkunde wechselte ich im Wintersemester 1973/74 an den Medizinischen Fachbereich über. Die Naturwissenschaftliche und Zahnärztliche Prüfung legte ich am 29. Oktober 1974 und am 2. April 1975 mit Erfolg ab. Seit dieser Zeit war ich auch für das Studium der Humanmedizin immatrikuliert. Das Staatsexamen beendete ich am 7. Dezember 1977 in Zahnheilkunde und nach erfolgreicher Ablegung des Physikums, 1., 2. und 3. Ärztlichen Prüfung das Staatsexamen in Humanmedizin am 17. April 1979. Am 30. Dezember 1977 erlangte ich die Bestallung als Zahnarzt und am 18. Mai 1979 als Arzt.

Während der letzten Monate war ich als Arzt beim Malteser Auslandsdienst e.V. eingesetzt im Flüchtlingslager Kao-I-Dang an der thailändisch-kambotschanischen Grenze im Feldlazarett.

Seit 1.4.1974 bin ich verheiratet mit der Zahnarzthelferin und Kinderkrankenschwester Roswitha Fuchs, geb. Pollinger. Seit 28.7.1979 sind wir Eltern eines Sohnes.

Ernst Fuchs

Druckerei A. Staudenraus Würzburg